



TUGAS AKHIR – MO 141326

**ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI
SEKITAR MUARA KALI PORONG**

Abdul Holil Situmorang

NRP. 04311440000081

Dosen Pembimbing

Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D.

Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



FINAL PROJECT – MO 141326

**SHORELINE CHANGE ANALYSIS AROUND
ESTUARY OF PORONG RIVER**

Abdul Holil Situmorang

NRP. 04311440000081

Supervisor

Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D.

Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.

Ocean Engineering Department

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember of Institute Technology

Surabaya

2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI SEKITAR MUARA KALI PORONG

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi
Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Abdul Holil Situmorang

04311440000081

Disetujui oleh:

1. Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)
2. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 2)
3. Dr. Eng., K. Sambodho, S.T., M.Eng. (Penguji 1)
4. Dr. Eng., Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Penguji 2)

Surabaya, Mei 2018

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI SEKITAR MUARA KALI PORONG

Nama : Abdul Holil Situmorang
NRP : 0431144 0000 081
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D.
Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Kali Porong merupakan salah satu sungai terusan sungai Brantas di Mojokerto, mengalir ke arah timur dan bermuara di Selat Madura. Sungai ini membatasi Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Pasuruan. Sungai ini merupakan sungai buatan yang merupakan tempat pembuangan Lumpur Porong yang akan dialirkan ke Laut di Selat Madura sejak November 2006. Tugas akhir ini akan membahas laju sedimen transpor dan perubahan garis pantai di sekitar Muara Kali Porong dengan membandingkan formula dari Komar, Inman, dan CERC. Dimana perbandingan dilakukan dengan besarnya hasil nilai eror dari kedua formula yang ada. Nilai eror ini didapatkan dengan membandingkan perubahan garis pantai hasil perhitungan dengan perubahan garis pantai asli yang merupakan pengukuran pada gambar. Dimana hasil yang memiliki nilai eror terkecil akan digunakan untuk memprediksi perubahan garis pantai untuk sepuluh tahun yang akan datang. Model ini didasarkan pada konsep transpor sedimen sejajar pantai (longshore current) di lokasi tertentu muara sungai Porong. Dari perhitungan laju sedimen transpor didapatkan untuk formula CERC sebesar (pias 1 sebesar 752,210 m³/tahun, piase 2 sebesar 807,962 m³/tahun, dan piase 3 sebesar 758,474 m³/tahun), sedangkan untuk formula Komar, Inman (pias 1 sebesar 1459.400 m³/tahun, piase 2 sebesar 1567,568 m³/tahun, dan piase 3 sebesar 1471,553 m³/tahun). Sedangkan untuk perubahan garis pantai, pada model satu menggunakan data tahun 2004 untuk kondisi awal dan menghasilkan dua hasil yang berbeda dari tiap-tiap formula untuk 10 tahun kedepan. Setelah dibandingkan dengan data pada tahun 2014, formula Komar, Inman merupakan hasil dengan nilai *error* terkecil yaitu sebesar 3.561% dari data 2014. Lalu dengan menggunakan data tahun 2014 sebagai kondisi awal, model menghasilkan estimasi perubahan garis pantai untuk periode berikutnya selama 10 tahun. Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan model 2014, model ini memberikan hasil perubahan garis pantai sebesar 9447,0697 m dengan menggunakan formula dari Komar, Inman.

Kata kunci: Kali porong, Laju Sedimen Transpor, Perubahan Garis Pantai.

SHORELINE CHANGE ANALYSIS AROUND ESTUARY OF PORONG RIVER

Name : Abdul Holil Situmorang
NRP : 0431144 0000 081
Department : Ocean Engineering
Lecturer : Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D.
Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Porong River is one of the canal river Brantas river in Mojokerto, flowing towards the east and empties into the Madura Strait. This river limits Sidoarjo and Pasuruan regencies. It is an artificial river which is the disposal of Porong mud that will be channeled into the sea in the Madura Strait since November 2006. The aim of this final project is discuss the rate of sediment transport and coastline changes around the Estuary of Porong River by comparing the formula of Komar, Inman, and CERC Where the comparison is done by the amount of error value results of the two existing formulas. The value of this error is obtained with comparing the coastline changes calculated by the models and the original coastline change by the measurement in the figure. Where the results of the smallest error value will be used to predict coastline changes for the next ten years. This model is based on the the concept of sediment transport parallel to the beach (longshore current) at a certain location of the Porong river estuary. From the calculation of the rate of transport sediment obtained for the formula CERC (pias 1 of 752,210 m³ / year, pias 2 of 807, 962 m³ / year, and 3 pias of 758,474 m³ / year), while for Komar formula, Inman (pias 1 of 1459,400 m³ / year, 2 pias of 1567,568 m³ / year, and 3 pias of 1471,535 m³ / year). As for coastline changes, in model one uses 2004 data for initial conditions and yields two different results from each formula for the next 10 years. Compared with data in 2014, the Komar formula, Inman is the result with the smallest error value of 3.561% of the 2014 data. Then using 2014 data as the initial condition, the model produces the estimated coastline change for the next period for 10 years. After calculation using model 2014, this model gives the result of the coastline changes of 9447,0697 m using the formula from Komar, Inman.

Keywords: Porong River, Sediment Transport Rate, Shoreline Change

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta kekuatan hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Perubahan Garis Pantai di Sekitar Muara Kali Porong”**.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang perubahan garis pantai yang terjadi di sekitar muara kali porong akibat sedimentasi sungai dan laut, percobaan ini dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut, Departemen Teknik Kelautan, FTK, ITS.

Penulis sangat mengharapkan agar karya tulis ini dapat memberikan ilmu pengetahuan dalam lingkup rekayasa kelautan serta dapat dikembangkan kedalam penelitian yang lebih intensif dan ekstensif.

Penulis sangat bangga bisa menyelesaikan sebuah karya penelitian Perubahan Garis Pantai ini, dan telah dilaporkan dalam bentuk tulisan dalam buku tugas akhir ini. Namun, penulis minta maaf apabila ada kesalahan penulisan maupun pada penelitian di dalam buku tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya saran atau masukan untuk perbaikan/penyusunan dalam pengembangan karya tulis ini di masa mendatang. Akhir kata penulis hanya dapat berharap penelitian ini terus berkembang agar bermanfaat bagi kemajuan dunia kelautan khususnya bidang Teknik Pantai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Mistiah Tampubolon selaku mamak kandung saya, Kakak, Abang serta keluarga besar di kampung halaman, atas bantuan material dan perhatiannya yang selalu bisa menghidupkan semangat saya untuk mengerjakan tugas akhir
3. Bapak Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, motivasi dan fasilitas yang memudahkan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan waktunya dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Berkat jasa dan bimbingannya, penulis menjadi lebih paham dan lebih mudah mengerjakan tugas akhir ini.
5. Bapak Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D selaku koordinator tugas akhir yang selalu mengerti dan memberikan toleransi ketika mendaftar sidang sehingga memudahkan dalam prosesnya.
6. Para Dosen Penguji yang selalu memberi masukan dan revisi sehingga tugas akhir ini menjadi lebih baik.
7. Para Dosen Teknik Kelautan yang telah memberikan ilmunya kepada saya selama kuliah di Teknik Kelautan sehingga mempermudah saya dalam mengerjakan tugas akhir ini
8. Lembaga Beasiswa Bidikmisi yang telah memberikan bantuan finansial selama saya kuliah di ITS, hingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu.

9. Teman - teman Maelstrom yang selalu *mensupport* dan membantu selama kuliah di Teknik Kelautan hingga saya menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Buk Dokter yang sudah ngeluangin waktunya membantu saya membuat jurnal dan abstrak Bahasa Inggris serta selalu mengingatkan saya untuk mengerjakan tugas akhir ini.
11. Sahabat saya angkasa ctf 2011 dan seluruh alumni keluarga besar SMA Unggulan CTFoundation yang sudah memberikan dukungan moril.
12. Bapak dan Ibu kos (Keputih Gang 2C no. 21A), yang menjadi tempat tinggal selama penulis menempuh studi.

Surabaya, 14 Mei 2018

Abdul Holil Situmorang

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Perubahan Garis Pantai	8
2.2.2 Angin.....	10
2.2.3 Pembangkitan Gelombang Oleh Angin.....	10
2.2.4 Perambatan Gelombang	13
2.2.5 Sedimentasi.....	21
2.2.6 Perhitungan Perubahan Garis Pantai	27
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN	29
3.1 Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>)	29
3.2 Penjelasan Diagram Alir	30

BAB 4. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Lokasi Penelitian.....	33
4.2 Pengumpulan Data	34
4.2.1 Data Bathimetri.....	34
4.2.2 Data Angin.....	34
4.2.3 Data Gelombang	34
4.2.4 Data Tanah.....	35
4.3 Analisis Data.....	35
4.3.1 Analisa Data Angin	35
4.3.2 Analisa Gelombang.....	37
4.3.3 Anaisis Refraksi, Shoaling, dan Gelombang Pecah.....	42
4.4 Perhitungan Laju Sedimen Transpor di Pantai Sekitar Muara Kali Porong	42
4.5 Perhitungan Perubahan Garis Pantai	45
4.5.1 Perhitungan Perubahan Garis Pantai dari Tahun 2004 ke 2014	47
4.5.2 Perhitungan Perubahan Garis Pantai dari Tahun 2014-2024.....	49
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Lokasi Penelitian.....	3
Gambar 2.1.	Koefisien Koreksi terhadap Pencatatan Kecepatan di Darat	12
Gambar 2.2.	Refraksi Gelombang pada kontur lurus dan sejajar	14
Gambar 2.3.	Transpor Sedimen Sepanjang Pantai.....	27
Gambar 3.1.	Diagram Alir (<i>flowchat</i>) Kegiatan	29
Gambar 4.1.	Lokasi Penelitian.....	33
Gambar 4.2	Mawar Angin (Stasiun Meterorologi Maritim Tanjung Perak Tahun (2011-2015).....	37
Gambar 4.3	Grafik Distribusi Frekuensi Angin (Stasiun Meterorologi Maritim Tanjung Perak Tahun 2011-2015)	37
Gambar 4.4	Peta untuk Perhitungan Panjang Fetch Efektif Arah Dominan Timur	38
Gambar 4.5	Peta untuk Perhitungan Panjang Fetch Efektif Arah Dominan Tenggara	38
Gambar 4.6	Hubungan R_L dan U_L	40
Gambar 4.7	Grafik hasil perbandingan PGP hasil perhitungan dan PGP sebenarnya.....	47
Gambar 4.8	Grafik error tiap pias	48
Gambar 4.9	Grafik perubahan garis pantai (2014-2024).....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Jumlah Kejadian Angin Pantai Sekitar Muara Kali Porong Tahun 2011-2015	36
Tabel 4.2.	Persentase Kejadian Angin Pantai Sekitar Muara Kali Porong Tahun 2011-2015.....	36
Tabel 4.3.	Perhitungan Fetch Efektif Angin Dominan Timur	39
Tabel 4.4.	Perhitungan Fetch Efektif Angin Dominan Tenggara	39
Tabel 4.5.	Hasil Perhitungan H_0 dan T_0	41
Tabel 4.6.	Hasil Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan	41
Tabel 4.7.	Hasil Perhitungan Refraksi untuk Pias 1	42
Tabel 4.8.	Hasil Perhitungan Refraksi untuk Pias 2	43
Tabel 4.9.	Hasil Perhitungan Refraksi untuk Pias 3	43
Tabel 4.10.	Hasil Perhitungan Gelombang Pecah untuk Pias 1	44
Tabel 4.11.	Hasil Perhitungan Gelombang Pecah untuk Pias 2	44
Tabel 4.12.	Hasil Perhitungan Gelombang Pecah untuk Pias 3	45
Tabel 4.13.	Hasil Perhitungan Laju Sedimen Masing-Masing Pias	46
Tabel 4.14.	Nilai Error Masing-Masing Formula	48

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A.** Bathymetri
- Lampiran B.** Gambar Refraksi
- Lampiran C.** Hasil Pengukuran Garis Pantai 2004 dan 2014
- Lampiran D.** Perhitungan Perubahan Garis Pantai 2004-2014 dengan Formula CERC
- Lampiran E.** Perhitungan Perubahan Garis Pantai 2004-2014 dengan Formula Komar, Inman
- Lampiran F.** Perhitungan Perubahan Garis Pantai 2014-2024

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sidoarjo merupakan salah satu kota berkembang yang menjadi pusat industri dan perdagangan yang sangat berperan dalam pembangunan nasional. Perkembangan yang terjadi di kota Sidoarjo menarik minat penduduk untuk bermigrasi ke kota Sidoarjo yang berakibat pada meningkatnya jumlah penduduk. Berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistika) Provinsi Jawa Timur Laju Pertumbuhan Penduduk Sidoarjo mencapai 1.66 % per tahun antara tahun 2010 - 2015, dengan jumlah penduduk 1.949.595 jiwa pada tahun 2010, 2.083.924 jiwa pada tahun 2014 dan 2.117.279 jiwa pada tahun 2015. Hal ini akan berakibat pada kebutuhan akan lahan terbangun untuk perumahan dan fasilitas lainnya menjadi meningkat.

Baker and Kaeoniam (1985) menyatakan bahwa pantai adalah area geografis dimana faktor-faktor darat dan laut bercampur dan membentuk bentang lahan dan ekosistem yang unik. Pantai merupakan salah satu kawasan yang sangat intensif dimanfaatkan untuk kegiatan manusia seperti: pusat pemerintahan, permukiman, industri, pelabuhan, pertambangan, dan pariwisata. Hal ini terkait erat dengan potensi luar biasa yang dimiliki oleh pantai yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung kehidupan manusia. Perubahan terhadap garis pantai adalah satu proses tanpa henti (terus menerus) melalui berbagai proses baik pengikisan (*abrasi*) maupun penambahan (*akresi*) pantai yang diakibatkan oleh pergerakan sedimen, arus susur pantai (*longshore current*), tindakan ombak dan penggunaan tanah (Vreugdenhil-1999). Salah satu penyebab perubahan garis pantai adalah sedimentasi yang disebabkan oleh aliran sungai. Dimana sungai-sungai membawa sedimen dari daratan dan mengendapkannya di sekitar muara sungai menyebabkan garis pantai semakin lama semakin maju ke arah laut.

Kali Porong merupakan salah satu sungai terusan sungai Brantas di Mojokerto, mengalir ke arah timur dan bermuara di Selat Madura. Sungai ini membatasi Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Pasuruan. Sungai ini merupakan sungai buatan

alias terusan yang digunakan untuk mengalihkan sebagian aliran sungai Brantas yang bermuara di Surabaya. Kali Porong mempunyai dua anak sungai yaitu Kali Sedat (KP. 100) dengan luas DAS 406,7 Km² dan Kali Kambing (KP. 148) dengan luas DAS 196,6 Km². Dengan kondisi geologi lembah Kali Porong berisi piedmonte batu karang vulkanis seperti : grumosol, latosol, mediteran dan alluvial. Dengan kondisi dasar sungai tidak beraturan tanpa batu besar dan belukar.

Pada November 2006 pemerintah menetapkan lumpur Sidoarjo yang diakibatkan oleh bencana Lumpur Lapindo pada Mei 2006 dibuang melalui Kali Porong agar dapat dialirkan ke Laut di Selat Madura. Dengan adanya tambahan material lumpur dari lumpur Sidoarjo tersebut menyebabkan bertambahnya material sedimen yang diterima oleh pantai. Herman, Osawa, dan Arthana (2010) mengatakan bahwa pola Total Suspended Material (TSM) dari citra satelit Landsat and Modis memperlihatkan bahwa distribusi TSM yang berasal dari Kali Porong kemudian akan terakumulasi menuju arah muara. Tetapi konsentrasi akan semakin mengecil pada daerah yang jauh dari muara. Ini diakibatkan oleh adanya pengaruh dari arus pasang surut yang terjadi di Selat Madura. Untuk itu perlu diperlukan suatu penelitian tentang laju sebaran sedimen dan perubahan garis pantai untuk mengetahui laju sebaran sedimen dan perubahan garis pantai beberapa tahun ke depan di pesisir pantai selat madura. Penelitian ini menggunakan bantuan Software Ms.Excel dengan beberapa formula. Dari hasil perhitungan dengan diharapkan bisa mengetahui laju sedimen transpor dan prediksi perubahan garis pantai untuk 10 tahun yang akan datang.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian (google earth, 2017)

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana laju transpor sedimen sepanjang pantai di Pantai sekitar Muara Kali Porong Sidoarjo?
2. Bagaimana estimasi perubahan garis pantai yang terjadi dalam rentang waktu 10 tahun dari tahun 2014-2024?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui laju transpor sedimen sepanjang di Pantai sekitar Muara Kali Porong Sidoarjo.
2. Mengetahui estimasi perubahan garis pantai yang terjadi dalam rentang waktu 10 tahun dari tahun 2014-2024.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui estimasi perubahan garis pantai akibat sedimentasi Kali Porong untuk beberapa tahun kedepan. Sehingga dari informasi ini diharapkan bisa menjadi referensi untuk

pemerintah daerah dalam rangka pengembangan dan pembangunan Infrastruktur.

1.5 Batasan Masalah

Agar mendapatkan hasil akhir analisa yang baik dan tidak menyimpang dari permasalahan yang akan dikaji dan ditinjau maka terdapat batasan masalah yang perlu diperhitungkan yaitu:

1. Penelitian ini dikhususkan pada wilayah pantai sekitar muara kali porong.
2. Perhitungan sedimen transpor sepanjang pantai menggunakan formula dari CERC (1984) dan Komar, Inman.
3. Data angin yang digunakan yaitu data angin 2011-2015.
4. Peta bathimetri serta data sekunder yang diperlukan diperoleh dari sumber-sumber lain yang relevan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi acuan yang menjadi dasar dalam analisis berupa dasar-dasar teori dan rumus-rumus yang digunakan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini ,menjelaskan tentang langkah-langkah yang akan dilakukan dalam mengerjakan tugas akhir ini yang digambarkan dalam diagram alir penelitian yang disusun secara sistematis dan dilengkapi pula dengan data-data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil yang diperoleh dari perhitungan dan analisa yang dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapatkan dari keseluruhan hasil analisa dan pembahasan serta berisi saran untuk menindak lanjuti penelitian dengan permasalahan yang terkait.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Astrid (2007) melakukan studi pemodelan pola penyebaran lumpur porong di pesisir timur Sidoarjo untuk mengetahui model pola penyebaran air lumpur dan pola penyebaran lumpur yang terjadi saat dibuang ke selat Madura melalui sungai Porong pada jarak 6 km dari muara sungai. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan jarak sebaran lumpur dan air lumpur selama 128 jam dari beberapa titik yang ditinjau dengan menggunakan *software* SMS.

Kukuh (2009) melakukan analisa perubahan garis pantai akibat breakwater di kawasan Banyuwangi. Dari analisa yang dilakukan menggunakan *software Generalized Model for Simulating Shoreline Change* (GENESIS) mendapatkan hasil prediksi dalam kurun waktu 14 tahun dengan kondisi eksisting didapatkan luasan akresi dan erosi. Serta pemodelan alternatif penanganan dilakukan setelah model terkalibrasi untuk memprediksi 20 tahun kedepan dengan menambahkan groin dan pelebaran *revetment*.

Made (2014) melakukan analisa perubahan garis pantai di Kabupaten Bandung akibat kenaikan muka air laut menggunakan metode modifikasi *Bruun Rule*. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kenaikan muka air laut yang terjadi di kawasan pesisir Kabupaten Bandung, mengetahui metode yang cocok untuk memprediksi kemunduran garis pantai antara model Bruun dengan Hennecke, memprediksi perubahan garis pantai yang terjadi di wilayah pesisir Kabupaten Bandung karena dampak dari kenaikan muka air laut, serta mengetahui strategi penanggulangan dampak perubahan garis pantai sebagai akibat kenaikan muka air laut yang sesuai di kawasan pesisir Kabupaten Bandung.

Chatarina (2010) melakukan analisa perubahan garis pantai menggunakan SIG serta dampaknya terhadap kehidupan masyarakat di sekitar muara sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan. Dari penelitian ini didapatkan perubahan penggunaan lahan

daerah penelitian tahun 1981-2009, perubahan garis pantai 2009-2010, serta dampak perubahan garis pantai terhadap kehidupan sosial masyarakat. Dalam pemodelan ini menggunakan foto udara Panchromatic hitam putih tahun 1981, peta rupa bumi Indonesia lembar Rejosro tahun 2000 dan citra IKONOS tahun 2005 yang dilengkapi dengan survey lapangan tahun 2009.

Sedangkan pada penelitian Tugas Akhir ini yang akan dimodelkan adalah perubahan garis pantai beberapa tahun ke depan akibat lumpur lapindo yang dibuang ke pesisir Timur Sidoarjo di perairan selat Madura. Dalam pemodelan ini mempertimbangkan bagaimana pola penyebaran sedimen yang terjadi dan serta besarnya perubahan garis pantai selama kurun waktu tertentu.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Perubahan Garis Pantai

Pada bentang lahan pesisir (coastal lanscape) tercakup perairan laut yang disebut dengan pantai atau tepi laut, adalah suatu daerah yang meluas dari titik terendah air laut pada saat surut hingga ke arah daratan sampai mencapai batas efektif dari gelombang. Pertemuan antara air laut dan daratan ini dibatasi oleh garis pantai (shore line), yang kedudukannya berubah sesuai dengan kedudukan pada saat pasang surut, pengaruh gelombang dan arus. Pada umumnya perubahan garis pantai yang terjadi pada suatu daerah adalah perubahan maju (akresi) dan perubahan mundur (abrasi). Garis pantai dikatakan mengalami akresi bila ada petunjuk mengenai terjadinya pengendapan atau deposisi secara kontinyu dan atau mengalami pengangkatan atau emerge. Abrasi pantai (Triadmodjo, 1999) terajadi bila suatu pantai yang ditinjau mengalami kehilangan atau pengurangan sedimen artinya sedimen yang terangkut lebih besar dari pada yang diendapkan, dimana efektifitas dari abrasi tergantung pada energi gelombang dan ketersediaan material yang rentang (daya resistennya rendah) serta kemiringan pantai. Untuk mengetahui apakah pantai mengalami akresi atau abrasi biasanya dilakukan dengan menggunakan analisis imbalanced sedimen pantai. Dimana analisis ini didasarkan pada hukum kekekalan masa sedimen. Dengan analisis ini dapat

diperkirakan daerah pantai yang mengalami erosi dan akresi (sedimentasi). Imbangan sedimen ini pantai adalah banyaknya sedimen yang masuk dikurangi dengan banyaknya sedimen yang keluar. Apabila imbangannya nol maka pantai dalam kondisi stabil, jika nilainya positif maka mengalami akresi dan sebaliknya jika imbangan negatif maka pantai mengalami erosi.

Salah satu yang menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai adalah gelombang. Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva sinusoidal. Gelombang laut disebabkan oleh angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang disebut gelombang. Gelombang yang terjadi sehari-hari terjadi adalah gelombang angin dan pasang surut. Dimana energi gelombang akan membangkitkan arus dan memperngaruhi pergerakan sedimen dalam arah tegak lurus pantai (cross-shore) dan sejajar pantai (longshore).

Selain gelombang faktor lain yang mempengaruhi perubahan garis pantai yaitu adanya sedimentasi dari sungai. Sedimentasi yang dihasilkan sungai dapat karena pada umumnya berasal dari runtuhnya lereng dasar sisi kanan-kiri sungai, dan material sedimen dari hulu sungai yang terbawa arus/aliran sungai dan dalam penelitian ini sedimen yang berasal dari adanya tambahan lumpur Kali Porong Sidoarjo. Sedimen dari hulu sungai akan dibawa ke hilir sungai hingga muara sungai. Dimana muara sungai adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan langsung dengan laut yang berfungsi sebagai pengeluaran/pembuangan debit sungai, terutama disaat banjir. Pada saat air surut sedimen tersebut akan terdorong ke muara dan menyebar di laut dan sebaliknya ketika saat dimana air mulai pasang, sebagian suspensi dari laut masuk ke sungai bertemu dengan sedimen yang berasal dari hulu sungai. Di alur sungai, terutama pada waktu air surut kecepatan aliran besar, sehingga sebagian sedimen yang telah diendapkan tererosi kembali, tetapi di depan muara sungai dimana aliran telah menyebar, kecepatan aliran lebih kecil sehingga tidak mampu mengerosi semua sedimen yang telah diendapkan. Dengan demikian dalam satu siklus pasang surut jumlah sedimen

yang mengendap akan lebih daripada yang tererosi, sehingga terjadi endapan di depan mulut sungai. Terjadinya proses tersebut terus menerus menyebabkan majunya muara sungai ke arah laut dan membentuk delta.

2.2.2 Angin

Gelombang yang terbentuk di laut dapat dibedakan berdasarkan gaya pembangkit gelombang tersebut. Gelombang tersebut adalah gelombang angin, gelombang pasang surut, gelombang tsunami dan lain sebagainya. Gelombang dapat menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai.

Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan air, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus, akhirnya terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin banyak gelombang yang terbentuk. Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh angin yang meliputi kecepatan angin U , lama hembusan angin D , arah angin, dan fetch F . Fetch adalah daerah dimana kecepatan arah angin konstan. Data angin yang digunakan untuk peramalan adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung atau pengukuran di darat dekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin di laut. Data angin dicatat tiap jam dan biasanya disajikan dalam bentuk tabel. Karena jumlahnya yang sangat besar, maka harus diolah dan disajikan dalam bentuk tabel (ringkasan) atau diagram yang disebut dengan mawar angin (winrose). Dengan tabel atau mawar angin maka data dapat dibaca dengan cepat.

2.2.3 Pembangkitan Gelombang Oleh Angin

Berhembusnya angin di atas permukaan air laut yang tenang akan menyebabkan terbentuknya riak gelombang kecil di atas permukaan air. Semakin besar angin

yang berhembus maka semakin besar pula riak yang akan terbentuk dan apabila angin berhembus secara terus menerus maka akan terbentuk gelombang. Dimana tinggi dan periode gelombang yang terbentuk dipengaruhi oleh angin(U), lama hembusan(t), panjang *fetch*(F) dan arah angin. Waktu yang diperlukan gelombang untuk berada di bawah pengaruh angin dibatasi oleh panjang *fetch*. Maka apabila *fetch*-nya pendek maka energi yang ditransfer angin ke air belum cukup besar, sehingga gelombang yang terjadi belum cukup tinggi.

2.2.3.1 Fetch

Fetch adalah daerah dimana kecepatan arah angin konstan, dimana fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Dalam daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin, tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Fetch rerata efektif yang diberikan dalam persamaan berikut (Triatmojo, 1999)

$$F_{eff} = \frac{i \cos \alpha_i}{\cos \alpha_i} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

F_{eff} = Fetch efektif

X_i = Panjang fetch

α_i = Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

2.2.3.2 Kecepatan Angin

Dalam rumus-rumus pembangkit gelombang, data angin yang digunakan adalah data dipermukaan laut. Namun biasanya pengukuran angin dilakukan di darat. Oleh sebab itu perlu adanya transformasi dari data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut. Untuk mengubah data

angin hasil pencatatan di darat (U_L) menjadi data kecepatan angin di laut (U_w) dapat menggunakan formula dari SPM berikut ini:

$$U = R_T R_L (U_{10})_L \dots \dots \dots (2.2)$$

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan:

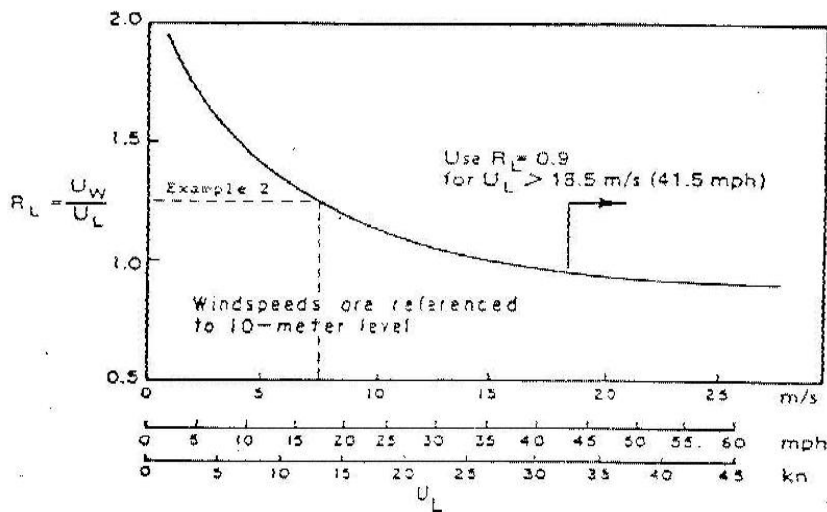
R_T = Koreksi akibat perbedaan temperatur antara udara dan air

R_L = Koreksi terhadap pencatatan angin yang dilakukan di darat

$(U_{10})_L$ = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas tanah (land)

U_L = Kecepatan angin di atas daratan (m)

Untuk memperoleh nilai R_L dapat dilakukan dengan mengeplot nilai U_L ke dalam grafik berikut:



Gambar 2.1 Koefisien Koreksi terhadap Pencatatan Kecepatan di Darat
(Triatmodjo,1999)

Namun jika ingin menggunakan grafik yang ada pada buku Shore Protection Manual (1984), kecepatan angin tersebut masih harus dirubah ke faktor tegangan angin U_A (wind-stress factor) yang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$U_A = 0,71 U_W^{1,23} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana : U_W = kecepatan angin dalam m/det.

U_A = faktor tegangan angin (*wind stress factor*)

Kemudian untuk mendapatkan gelombang signifikan (H_s), periode signifikan (T_s) dapat dilakukan dengan cara memasukkan nilai wind stress factor, U_A , panjang fetch efektif (F_{eff}) pada grafik SPM atau dengan memasukkan nilai-nilai tersebut dalam formulasi persamaan *forecasting* gelombang laut dalam. Berikut merupakan pendekatan dari grafik SPM (*Shore Protection Manual*), 1984 vol. 1 sebagai berikut:

$$H_o = 5.112 \times 10^{-4} \times U_A \times F_{eff}^{0.5} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$T_o = 6.238 \times 10^{-2} \times [F_{eff}^2 / U_a]^{1/3} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

H_o = tinggi gelombang laut dalam (m)

T_o = periode gelombang laut dalam (s)

F_{eff} = panjang rerata efektif

Maka dari perhitungan H_o dan T_o dapat dicari H_{rms} , T_{rms} , $H_{01/3}$ dan $T_{01/3}$ melalui persamaan berikut (SPM, 1984):

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$H_{01/3} = 1.416 \times H_{rms} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$T_{01/3} = 1.42 \times T_{rms} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana :

H_{rms} = H root mean square (m)

$H_{01/3}$ = Tinggi gelombang signifikan (m)

$T_{01/3}$ = Periode gelombang signifikan (s)

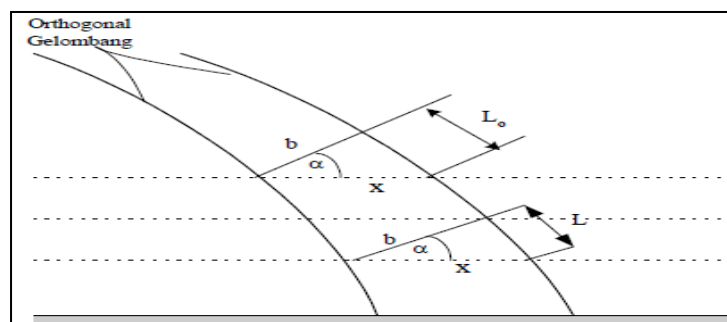
T_{rms} = T root mean square (s)

2.2.4 Perambatan Gelombang

Dalam perambatan gelombang menuju pantai, gelombang mengalami proses perubahan karakteristik gelombang seperti tinggi gelombang dan panjang gelombang (Pratikto 1996). Proses tersebut disebabkan adanya proses pendangkalan (*wave shoaling*), refraksi, difraksi dan proses refleksi sebelum gelombang tersebut pecah.

2.2.4.1 Refraksi Gelombang

Refraksi adalah proses perubahan arah gerak puncak gelombang. Perubahan ini disebabkan oleh perubahan kedalaman air. Variasi kecepatan gelombang yang terjadi di sepanjang puncak gelombang yang bergerak terhadap sudut kontur dasar laut menyebabkan gelombang yang di perairan lebih tinggi akan bergerak lebih cepat dibandingkan dengan yang berada di perairan dangkal. Dimana variasi ini akan menyebabkan penikungan arah perambatan gelombang atau *Orthogonal* gelombang (yaitu garis tegak lurus puncak gelombang). Jarak orthogonal dilaut dalam adalah tetap , namun berbeda dengan laut dangkal dimana jarak orthogonal dapat melebar dan menyempit tergantung kontur kedalaman.



Gambar 2.2 Refraksi Gelombang pada Kontur Lurus dan Sejajar (Triadmodjo, 1996)

Untuk analisis refraksi diasumsikan bahwa gelombang yang menuju pantai tidak ada energi yang mengalir secara lateral sepanjang puncak gelombang dan energi yang ditransmisikan adalah konstan di antara dua orthogonal. Dengan mengabaikan disipasi gelombang, maka kekekalan flux energi yang dibatasi oleh kedua orthogonal dapat diuraikan dalam persamaan berikut:

$$P_0 = P = \text{konstan}$$

$$n_0 B_0 E_0 = n B E C \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana:

$$E = \text{energi gelombang } (E = \frac{\rho g H^2}{8}) \dots\dots\dots(2.12)$$

$$n = \frac{C_g}{C} = 0,5 \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right); n_0 = 0,5 \dots\dots\dots(2.13)$$

dan dapat ditulis dalam bentuk:

$$0,5 B_0 \frac{\rho g H_0^2}{8} C_0 = B n \frac{\rho g H^2}{8} C \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{L_0}{2nL}} \sqrt{\frac{B_0}{B}} = K_s K_r \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana:

B_0 = lebar dua orthogonal di laut dalam.

B = lebar dua ortogonal di lokasi yang ditinjau

K_s = koefisien shoaling

K_r = koefisien refraksi

Studi refraksi dilakukan secara analitis dengan anggapan bahwa kontur dasar laut yang dilintasi oleh setiap garis ortogonal gelombang untuk berbagai arah

gelombang (angin) adalah sejajar. Studi refraksi ini berdasarkan pada persamaan berikut:

$$\sin \alpha_1 = \frac{C_1}{C_0} \sin \alpha_0$$

Dimana:

α_1 = Sudut datang gelombang di perairan pantai

α_2 = sudut datang gelombang diperairan laut dalam

C_1 = Cepat rambat gelombang di daerah pantai

C_2 = Cepat rambat gelombang di laut dalam

Apabila arah gelombang laut diketahui maka sudut datang gelombang pada setiap kedalaman di daerah pantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus di atas.

Persamaan $Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}}$ digunakan untuk menghitung koefisien refraksi (Kr),

sedangkan persamaan $H = Ksh.Kr.H_0$ digunakan untuk menghitung tinggi gelombang pada kedalaman tertentu.

Dimana:

H = Tinggi gelombang dititik yang ditinjau

H_0 = tinggi gelombang di laut dalam

Ksh = Koefisien shoaling

Kr = Koefisien refraksi

2.2.4.3 Pendangkalan Gelombang (*wave shoaling*)

Saat gelombang berjalan dari laut dalam menuju laut dangkal maka akan terjadi perubahan karakteristik dari gelombang tersebut disebabkan gelombang mulai mendapat gesekan dari tanah dasar laut. Karakteristik tersebut meliputi

perubahan tinggi, panjang, dan kecepatan gelombang dengan menganggap kemiringan perairan dapat diabaikan (Pratikto dkk, 1996). Untuk rumus kecepatan dan panjang gelombang sendiri dapat dituliskan sebagai berikut:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}, C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}, L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}, C_0 = \frac{gT}{2\pi} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dan persamaan di atas dapat dituliskan:

$$\frac{L}{L_0} = \frac{C}{C_0} = \tanh \frac{2\pi d}{L} \text{ atau } \frac{d}{L} = \frac{d}{L} \tanh \frac{2\pi d}{L} \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana:

- L = panjang gelombang (m)
- L₀ = panjang gelombang di laut dalam (m)
- g = percepatang gravitasi (m/det²)
- T = periode gelombang (det)
- C = cerelity gelombang (m/det)
- C₀ = cerelity gelombang di laut dalam (m/det)
- d = kedalaman air (m)

Rata-rata flux energi gelombang yang ditransportasikan dalam suatu potongan vertikal dalam tiap satuan lebar puncak satuan waktu, P setara dengan nEC adalah tetap sepanjang penjalaran gelombang. Maka diperoleh persamaan:

$$\frac{\rho g H^2 C n}{8} = \frac{\rho g H_0^2 C_0 n}{8} \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan n di dapat dari persamaan:

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi/L}{\sinh(4\pi/L)} \right) \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana:

P = flux energi gelombang

H_0 = tinggi gelombang di laut dalam

n = rasio group gelombang untuk celerity

Adanya proses pendangkalan gelombang (*shoaling*) disebabkan karena adanya perbedaan kedalaman. Dengan membandingkan energi gelombang di laut dangkal dengan energi gelombang di laut dalam, dapat diperoleh angka koefisien pendangkalan yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Pratikto, 1997) :

$$K_{sh} = \frac{1}{\sqrt{\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \left(1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)}\right)}} \dots\dots\dots(2.20)$$

dimana :

d = Kedalaman air

L = Panjang Gelombang

K_{sh} = Koefisien shoaling

Sebagaimana diketahui bahwa sebelum gelombang tersebut pecah maka akan terjadi penambahan tinggi gelombang dan berkurangnya panjang gelombang. Maka diketahui bahwa batas atas penyebab gelombang pecah disebabkan oleh nilai maksimum kemiringan gelombang (H/L) dan nilai maksimum perbandingan tinggi gelombang dan kedalaman air (H/L)

2.2.4.4 Gelombang Pecah

Adanya kemiringan pada dasar laut menyebabkan terjadinya perubahan karakteristik gelombang. Dimana perubahan karakteristik tersebut menyebabkan terjadinya gelombang pecah, dimana kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kecuraman gelombang. Gelombang pecah terjadi apabila ketinggian gelombang melewati batas *wave steepness*-nya. Untuk

menghitung tinggi gelombang pecah dapat dilakukan dengan menggunakan rumus hasil percobaan Mulk 1949 dalam CERC 1984) sebagai berikut:

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{1}{3.3 \left[\frac{H_0'}{L_0} \right]^{1/3}} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$d_b = 1.28 H_b \dots\dots\dots(2.22)$$

$$C_b = (g \times d_b)^{0.5} \dots\dots\dots(2.23)$$

Miche (1994) dalam pratikto, dkk (2000), mendeskripsikan bahwa gelombang pecah terjadi ketika parameter wave steepness terlampaui. Dimana persamaannya dapat ditulis:

$$\frac{H_b}{L_b} = 0,14 \tanh \left(\frac{2\pi d_b}{L_b} \right) \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan kriteria *Solitary Wave Theory*:

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.78 \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana kriteria di atas dikembangkan untuk gelombang reguler yang diasumsikan memiliki tinggi dan periode yang sama sebagaimana teori gelombang amplitudo kecil dan dihasilkan dari pemodelan.

Kamphuis (2002) mengajukan dua kriteria untuk aplikasi dalam kasus gelombang irreguler. Dimana kriteria tersebut dapat ditulis:

$$H_{maks} = 0,095 e^{4,0m} L_b \tanh \left(\frac{2\pi d_b}{L_b} \right) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$H_{maks} = d_b 0,56 e^{3,5m} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana:

H_{maks} = tinggi gelombang maksimum tepat sebelum pecah (m)

L_b = panjang gelombang di lokasi yang ditinjau (m)

d_b = kedalaman perairan lokasi yang ditinjau (m)

Kriteria Kamphus didasari oleh pemodelan dan menggunakan H_s untuk mendefinisikan gelombang saat pecah. Dimana gelombang akan pecah saat kriteria gelombang pecah tersebut dilampaui gelombang signifikan pada kedalam yang ditinjau berdasarkan hasil perhitungan.

Ada beberapa penelitian membuktikan bahwa kemiringan pantai dan kemiringan gelombang datang yang menentukan indeks tinggi gelombang pecah (H_b/H'_0) dan d_b/H_b yang ditunjukkan oleh grafik. Yang dapat dituliskan dalam bentuk rumus sebagai berikut (Triatmodjo, 1999:95):

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{\beta - (\alpha \cdot H_b / g^2)} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$\alpha = 43,75(1 - e^{-1m}) \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\beta = \frac{1,56}{(1 + e^{-1m})} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana:

H'_0 = tinggi gelombang pada kedalaman yang ditinjau akibat refraksi

L_0 = panjang gelombang pada kedalaman yang ditinjau akibat refraksi

H_b = tinggi gelombang pecah

C_b = cepat rambat gelombang pecah

d_b = kedalaman gelombang pecah

α dan β = fungsi kemiringan pantai

m = kemiringan pantai

2.2.5 Sedimentasi

Sedimentasi adalah suatu proses pengendapan material yang ditransport oleh air, angin, es, atau gletser disuatu cekungan. Delta yang terdapat di mulut-mulut sungai adalah hasil dan proses pengendapan material-material yang diangkut oleh air sungai, sedangkan bukit pasir (sand dunes) yang terdapat di gurun dan di tepi pantai adalah pengendapan dari material-material yang diangkut oleh angin. Sedimen pantai bisa berasal dari erosi pantai itu sendiri, dari daratan yang dibawa oleh sungai, dan dari laut dalam yang terbawa oleh arus ke daerah pantai.

Sedimen sendiri merupakan pecahan-pecahan material umumnya terdiri atas uraian-uraian batu -batuan secara fisis dan secara kimia. Partikel seperti ini mempunyai ukuran dari yang besar (boulder) sampai yang sangat halus (koloid), dan beragam bentuk dari bulat, lonjong sampai persegi.

2.2.5.1 Sifat-sifat Sedimen Pantai

Sifat-sifat sedimen pantai sangat penting didalam mempelajari proses erosi dan sedimentasi. Sifat-sifat tersebut adalah ukuran partikel dan distribusi butiran sedimen, rapat masa, bentuk dan kecepatan endapan, tahanan terhadap erosi, dan sebagainya.

a. Ukuran partikel sedimen

Ukuran partikel menunjukkan pengangkutan atau pengendapan material misalnya kemampuan air atau angin untuk memindahkan partikel. Ukuran partikel sangat penting dalam menentukan tingkat pengangkutan sedimen ukuran tertentu dan tempat sedimen tersebut terakumulasi di laut. Ukuran partikel sedimen dapat mempengaruhi besar atau kecilnya kemungkinan sedimen tersebut dapat mengalami erosi atau abrasi. Sehingga akan mempengaruhi proses transpor sedimen. Sedimen pantai diklasifikasikan berdasarkan ukuran butir menjadi lempung, lumpur, pasir, kerikil, koral (pebble), dan batu (boulder).

Untuk mengukur derajat penyebaran ukuran butiran terhadap nilai rerata sering digunakan koefisien S_0 yang di definisikan sebagai rumus berikut:

$$S_0 = \sqrt{\frac{D_{75}}{D_{25}}} \dots\dots\dots(2.31)$$

Dengan D_p merupakan ukuran p% dari berta sampel lebih halus dari diameter butir tersebut. Apabila $1,0 \leq S_0 \leq 1,5$ ukuran butir pasir seragam, untuk $1,5 \leq S_0 \leq 2,0$ penyebaran ukuran pasir sedang, sementara $2,0 \leq S_0$ berarti gradasi ukuran pasir bervariasi (Triatmodjo,1999).

b. Rapat Massa

Rapat massa adalah tiap satuan volume, sedangkan berat jenis γ adalah berat tiap satuan volume. Terdapat hubungan antara berat jenis dan rapat massa yang mempunyai bentuk $\gamma = \rho \cdot g$. Rapat massa atau berat jenis sedimen merupakan fungsi dari komposisi mineral. Rapat relatif adalah perbandingan antara rapat massa suatu zat dengan rapat massa air pada 4⁰. Rapat massa air pada temperature tersebut adalah 1000 kg/m³. Rapat relatif pasir adalah sekitar 2.65. untuk sedimen kohesif rapat massa sedimen tergantung pada konsentrasi endapan. Dan konsentrasi endapan dipengaruhi oleh waktu konsolidasi.

2.2.5.2 Pergerakan angkutan sedimen

Sedimen pantai dapat berasal dari berbagai sumber, bisa dari pantai itu sendiri, dari daratan yang dibawa sungai maupun dari laut dalam yang terbawa arus ke daerah pantai. Ada 3 (tiga) macam pergerakan angkutan sedimen (Ronggodigdo, 2011) yaitu:

a. *Bed Load Transport*

Partikel kasar yang bergerak di sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan *bed load*. Adanya *bed load* ditunjukkan oleh gerakan partikel di dasar sungai yang ukurannya besar, gerakan itu dapat bergeser, mengelinding, dan meloncat-loncat akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Pada kondisi ini pengangkutan material terjadi pada aliran yang mempunyai kecepatan relatif

lambat, sehingga material yang terbawa arus sifanya hanya menggelinding sepanjang saluran.

b. *Wash Load Transport*

Wash Load adalah angkutan partikel halus yang dapat berupa lempung (*silk*) dan debu (*dust*), yang terbawa oleh aliran sungai. Partikel ini akan terbawa aliran sampai ke laut, atau dapat juga mengendap pada aliran yang tenang atau pada air yang tergenang. Sumber utama dari wash load adalah hasil pelapukan lapisan atas batuan atau tanah di dalam daerah aliran sungai. Pada kondisi ini pengangkutan material terjadi pada aliran yang mempunyai kecepatan aliran yang relatif cepat, sehingga material yang terbawa arus membuat loncatan-loncatan akibat gaya dorong material tersebut.

c. *Suspended Load*

Suspended Load adalah material dasar sungai (*bed material*) yang melayang di dalam aliran dan terutama terdiri dari butir pasir halus yang senantiasa mengambang di atas dasar sungai, karena selalu di dorong ke atas oleh turbulensi aliran. Jika kecepatan aliran semakinn cepat, gerakan loncatan material akan semakin sering terjadi sehingga apabila butiran tersebut terus tergerus oleh aliran utama atau aliran turbulen ke arah permukaan, maka material tersebut tetap bergerak (melayang) di dalam aliran dalam selang waktu tertentu.

Sifat-sifat sedimen adalah sangat penting di dalam mempelajari proses erosi dan sedimentas. Sifat-sifat tersebut, antara lain ukuran partikel dan distribusi butir sedimen, rapat masa, bentuk, kecepatan endapan, tahapan terhadap erosi, dan sebgainya (Triatmodjo,1999).

2.2.5.3 Transport Sedimen Pantai

Tranport sedimen sepanjang pantai adalah gerakan sedimen pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transport sedimen pantai dibagi menjadi dua yaitu :

1. angkutan sedimen menuju-meninggalkan pantai (*Onshore-Offshore*)

Angkutan sedimen menuju-meninggalkan pantai adalah angkutan sedimen tegak lurus garis pantai. Yang terutama ditentukan oleh gelombang, ukuran butir sedimen, dan kemiringan pantai. Angkutan sedimen ini biasanya terjadi dalam waktu yang relatif singkat seperti proses angkutan sedimen tegak lurus yang dikaitkan oleh terjadinya gelombang pasang (*storm waves*).

2. angkutan sedimen sepanjang pantai (Longshore Transport)

Transpor sedimen sepanjang pantai adalah suatu angkutan sedimen yang sejajar dengan garis pantai, merupakan hasil dari terangkatnya (*suspensi*) butiran-butiran material pantai (pasir) oleh adanya turbulensi yang diakibatkan adanya gelombang pecah. Sedimen tersebut kemudian digerakkan oleh kedua komponen yaitu energi gelombang dalam arah sejajar pantai dan arus yang sejajar pantai yang dibentuk oleh gelombang pecah.

Ada beberapa faktor yang menyebabkan laju sedimen transpor antara lain:

- Karakteristik material sedimen (distribusi butir, bentuk, ukuran, rapat massa)
- Karakteristik gelombang dan arus (arah dan kecepatan angin, pasang surut)

Pratikto dkk., (1996) menyatakan bahwa secara umum proses sedimen transpor dapat dibagi dalam 3 tahap, antara lain:

- a. Teraduknya material kohesif dari dasar laut hingga tersuspensi atau lepasnya material non kohesif dari laut.
- b. Perpindahan material secara horisotal.
- c. Pengendapan kembali partikel/material sedimen tersebut.

CERC (1984) mengatakan bahwa penggambaran dari laju perpindahan sedimen sepanjang pantai adalah dengan laju perpindahan berat basah (*immersed weight*) Il yang dihubungkan dengan laju perpindahan volum dalam persamaan sebagai berikut:

$$Il = (\rho_s - \rho)g (1-n)Ql \dots \dots \dots (2.32)$$

Atau

$$Q = \frac{I_l}{(\rho_s - \rho)g(1-n)} \dots\dots\dots(2.33)$$

Keterangan :

Q_l = Debit transport sedimen sepanjang pantai ($m^3/tahun$)

ρ_s = Densitas dari butiran sedimen (kg/m^3)

ρ = densitas air laut (kg/m^3)

n = porositas partikel sedimen

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Parameter n adalah faktor ruang pori, dimana $(1-n)Q_l$ adalah perpindahan volum hanya dari sedimennya. Faktor $(\rho_s - \rho)$ digunakan untuk mendapatkan besarnya daya apung partikel di air. Laju perpindahan sedimen sepanjang pantai potensial, tergantung pada jumlah ketersediaan material litoral, dan sebagian besar dihubungkan dengan komponen longshore yang disebut energi atau power fluks yang dibuat dalam persamaan berikut:

$$P_l = (E C_g)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots\dots\dots(2.34)$$

Dengan,

$$E_b = \frac{\rho g H_b^2}{8} \dots\dots\dots(2.35)$$

dan

$$C_{gb} = \sqrt{g d_b} = \left[g \frac{H_b}{k} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.36)$$

Laju perpindahan berat basah I_l mempunyai satuan yang sama dengan P_l (N/dt) maka hubungan persamaan ini disebut Persamaan CERC yang dapat ditulis:

$$I_l = K P_l \dots\dots\dots(2.37)$$

$$I_l = K P_l = K (EC_g)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots \dots \dots (2.38)$$

Dengan mengasumsikan shallow water breaking, memberikan:

$$I_l = K \left[\frac{\rho g H_b^2}{8} \right] \left[\frac{g H_b^2}{k} \right] \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots \dots \dots (2.39)$$

$$I_l = K \left[\frac{\rho g^{3/2}}{8 k^{1/2}} \right] H_b^{5/2} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots \dots \dots (2.40)$$

$$I_l = K \left[\frac{\rho g^{3/2}}{16 k^{1/2}} \right] H_b^{5/2} \sin(2\alpha_b) \dots \dots \dots (2.41)$$

Maka dengan persamaan awal, hubungan antara I_l dengan laju perpindahan volume dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$Q_l = \frac{K}{(\rho_s - \rho) - (1 - n)} P_l \dots \dots \dots (2.42)$$

$$Q_l = K \left[\frac{\rho \sqrt{g}}{16 k^{1/2} (\rho_s - \rho) g (1 - n)} \right] P H_b^{5/2} \sin(2\alpha_b) \dots \dots \dots (2.43)$$

Variasi K berdasarkan diameter butir rata-rata adalah:

$$K = 1.4 e^{(2.5 D_{50})} \dots \dots \dots (2.44)$$

Keterangan :

P_l = Komponen fluks energy gelombang sepanjang pantai saat pecah
(NM/dt/m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

α_b = sudut datang gelombang pecah terhadap garis pantai

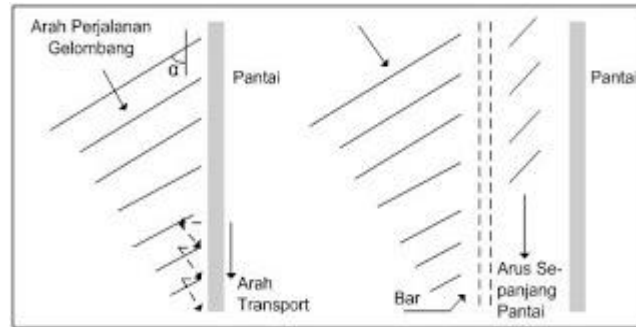
k = indeks pecah gelombang (0.78 untuk pantai datar meningkat lebih dari 1.0 tergantung kemiringan pantai)

K = Koefisien perbandingan empiris yang tidak berdimensi

D_{50} = Ukuran butir rata-rata dari sedimen pantai (mm)

E_b = energi gelombang yang dihiting pada breaker line

C_{gb} = kecepatan group gelombang pada breaker line Dengan nilai $K = 0.39$ bila menggunakan gelombang H_s dan $K = 0,77$ nilai menggunakan gelombang H_{rms} .



Gambar 2.3 Transpor Sedimen Sepanjang Pantai (Triatmodjo, 1999)

2.2.6 Perhitungan Perubahan Garis Pantai

Sifat pantai yang dinamis menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai yang terjadi secara terus menerus. Untuk itu perlu adanya studi untuk melakukan pengamatan perubahan garis pantai yang terjadi menggunakan metode matematik. Dalam studi pemodelan perubahan garis pantai yang terjadi dapat digukan metode Komar. Model ini dapat digunakan untuk memprediksi daerah yang mengalami erosi dan sedimentasi karena adanya transpor sedimen akibat gelombang yang sampai kepantai. Berikut persamaan metode perubahan garis pantai (Komar,1984):

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{1}{db} \frac{dQ_s}{d} \dots\dots\dots(2.53)$$

Dimana:

y = jarak antara garis pantai dan garis referensi

db = kedalaman air saat gelombang pecah

Q_s = sedimen transport sepanjang garis pantai

t = waktu

x = absis searah garis pantai

Rumus empiris yang digunakan dalam perhitungan untuk transpor sedimen sepanjang pantai adalah sebagai berikut:

$$Q_s = KE C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots\dots\dots(2.54)$$

$$E = \frac{\rho g h^2}{8} \dots\dots\dots(2.55)$$

dimana:

C_b = cepat rambat gelombang pecah (m/det)

E = energi gelombang (joule)

Q_s = transpor sedimen sepanjang pantai (m/tahun)

α_b = sudut gelombang pecah

K = konstanta (CERC = 0.401 dan Komar, Inman = 0.778)

Dalam analisa perubahan garis pantai kita dapat menggunakan beberapa formula, dalam penelitian ini formula yang digunakan yaitu dengan membandingkan formula CERC dan Komar, Inman.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)

Langkah-langkah penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir (*flow chat*) Kegiatan

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berikut ini merupakan penjelasan dari langkah-langkah penelitian yang digambarkan dalam diagram alir pada gambar 3.1:

1. Studi literatur

Studi literatur dalam penelitian ini berupa buku, Tugas Akhir serta jurnal yang membahas tentang permasalahan yang sama atau mendekati dalam tugas akhir ini. Tujuan dari studi literatur untuk digunakan sebagai acuan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Tahapan ini bertujuan untuk memenuhi semua data yang dibutuhkan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Data yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu data sekunder berupa data angin, gelombang, peta bathymetri dan data sedimen. Dimana data-data ini didapatkan dari dinas terkait ataupun dari data penelitian sebelumnya.

3. Analisa Data dan Pengolahan Data

Setelah semua data terkumpul langkah selanjutnya adalah analisa dan pengolahan data. Tujuan pengolahan data ini adalah agar mempermudah dalam melakukan perhitungan.

4. Perhitungan Refraksi, Shoaling dan Gelombang Pecah

Setelah data terkumpul serta telah dianalisa dan diolah, langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan. Perhitungan yang dilakukan berguna untuk menganalisis Refraksi, Shoaling, Gelombang Pecah dan serta koefisien-koefisien transformasi gelombang.

5. Perhitungan Transpor Sedimen

Langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan transpor sedimen yang berguna untuk mengetahui besarnya sedimen yang masuk ke pantai yang berasal dari laut.

6. Analisa perubahan Garis Pantai

Langkah terakhir yaitu melakukan analisa perubahan garis pantai yang terjadi akibat sedimentasi serta melakukan prediksi besarnya perubahan garis pantai beberapa tahun kedepan.

7. Kesimpulan

Setelah melakukan semua prosedur yang ada, maka akan dapat disimpulkan beberapa hal seperti laju sedimen yang terjadi di pantai sekitar muara kali porong serta besarnya perubahan garis pantai yang terjadi beberapa tahun mendatang.

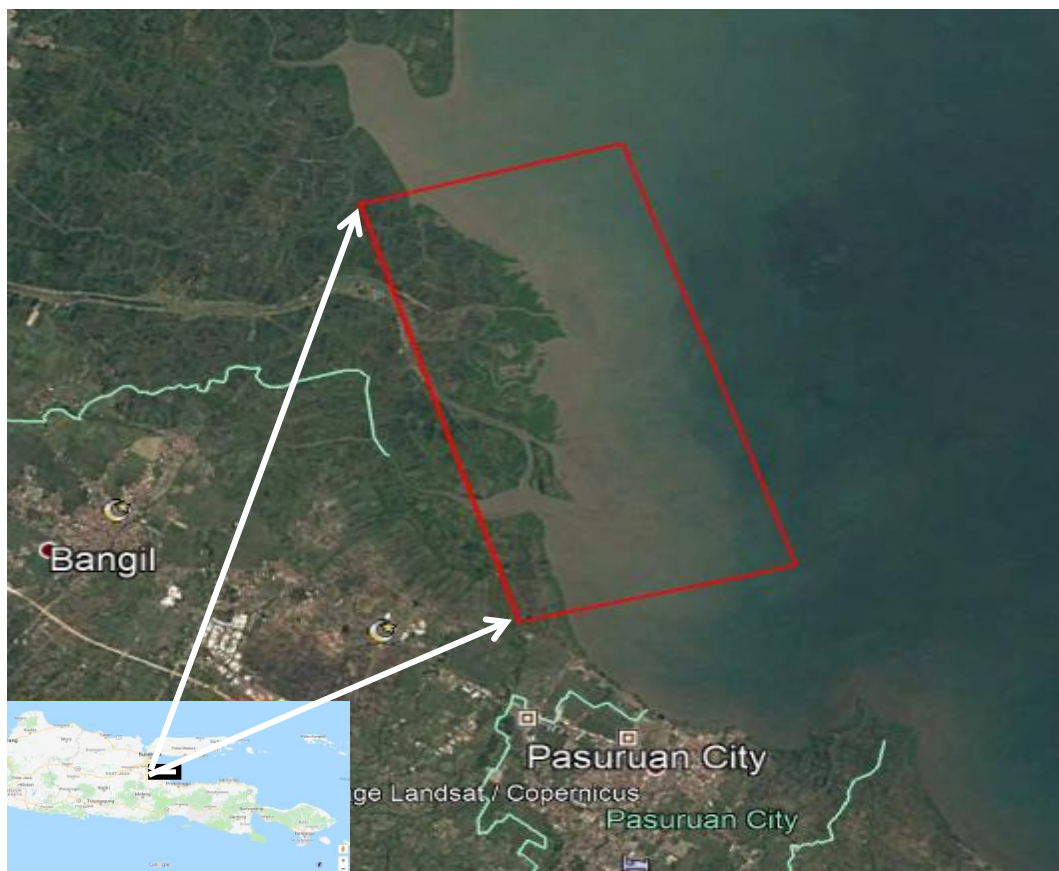
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian Tugas Akhir ini berada di daerah Sekitar Muara Kali Porong, Sidoarjo, Jawa Timur. Secara geografis lokasi penelitian berada pada koordinat 7.51° LS sampai 7.59° LS dan $112,796^{\circ}$ BT dan $112,89^{\circ}$ dengan lokasi penelitian sepanjang 8000 m seperti pada gambar 4.1. Daerah ini merupakan hilir dari aliran Sungai Porong yang bermuara di Selat Madura.



Gambar 4.1 Lokasi Pengamatan
(*Google Earth. 2018*)

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Data Peta Bathymetri

Data peta bathymetri diperlukan untuk melakukan analisis refraksi, shoaling, dan perubahan garis pantai. Untuk analisis refraksi, peta bathymetri yang ada dibagi kedalam beberapa pias kemudian digunakan untuk mencari koefisien refraksi dan karakteristik gelombang pecah. Sedangkan untuk analisis perubahan garis pantai, peta yang ada terlebih dahulu dibagi menjadi pias yang lebih kecil, kemudian dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai Y-awal (jarak titik nol ke garis pantai awal), kemudian hasil Y-awal tersebut digunakan dalam perhitungan untuk mendapatkan Y-akhir dalam setiap langkah waktu untuk menggambarkan perubahan garis pantai di lokasi studi.

4.2.2. Data Angin

Data angin yang digunakan dalam penelitian ini adalah data angin dari Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak selama kurun waktu 5 tahun dari tahun 2011 - 2015. Arah angin akan dinyatakan dalam bentuk 8 penjuru arah angin dengan kecepatan dalam satuan knot. Sebelumnya data angin yang di dapat dari pencatatan harus diolah menggunakan WRPLOT. Sebelum menggunakan WRPLOT data harus diolah terlebih dahulu menggunakan *Ms. Excel* dengan membagi data menjadi beberapa kolom. Dimana kolom pertama berisikan hari, kolom kedua berisikan bulan, kolom ketiga berisikan tahun, kolom keempat berisikan jam, kolom kelima berisikan kecepatan angin dan kolom keenam berisikan arah angin. Kemudian data angin tersebut diolah dengan menggunakan WRPLOT untuk mendapatkan arah angin dominan dan jumlah kejadian angin menurut arah dan kecepatannya yang disajikan dalam bentuk diagram mawar, tabel dan diagram batang.

4.2.3 Data Gelombang

Data gelombang juga diperlukan untuk mengetahui besaran dan perilaku gelombang yang menuju ke arah pantai. Data gelombang yang digunakan berdasarkan konversi dari data angin di darat di dekat lokasi penelitian. Gelombang yang ditemui di laut pada umumnya terbentuk dari proses perpindahan energi dari angin ke permukaan laut. Hembusan angin di atas

permukaan air yang tenang menyebabkan gangguan di permukaan air tersebut, yang nantinya menyebabkan munculnya riak di atas permukaan air tersebut. Seiring bertambahnya kecepatan angin, maka riak yang dihasilkan juga semakin besar dan apabila angin berhembus terus-menerus maka akan terbentuklah gelombang.

Karakteristik, tinggi, serta periode gelombang yang terbentuk tergantung dari pengaruh kecepatan angin (U), lama hembusan angin (t), panjang fetch (F), serta arah angin. Fetch dapat didefinisikan sebagai panjang daerah pembangkitan gelombang pada arah datangnya angin, pada umumnya dibatasi oleh daratan yang mengelilingi daerah daerah pembangkitan gelombang. Panjang fetch berpengaruh terhadap karakteristik gelombang, bila fetch semakin panjang maka akan terbentuk gelombang dengan periode besar. Apabila bentuk daerah pembangkitan tidak teratur, maka perhitungan fetch efektif dapat dilakukan dan kemudian hasilnya dapat digunakan untuk memprediksi karakteristik gelombang di laut dalam.

4.2.4 Data Tanah

Laju sedimentasi yang terjadi di pantai sekitar muara kali porong dipengaruhi oleh dua sumber yaitu dari laut dan dari kali porong yang mengalirkan sedimen tambahan dari sungai ke Pantai. Untuk itu perlu diketahui besarnya sedimentasi masuk ke muara yang disebabkan oleh kali porong akibat tambahan lumpur Porong Sidoarjo. Dimana hasilnya akan dijumlahkan dengan jumlah sedimen dari laut sehingga didapatkan besarnya perubahan garis pantai yang terjadi. Dari penelitian (Huda Bachtiar, dkk.2011) dalam Jurnal Geologi Kelautan, Volume 9, No. 3 didapatkan bahwa volume sedimen sungai Porong sebesar 11.442,23 m³/tahun.

4.3 Analisa Data

4.3.1 Analisa Data Angin

Analisa data angin dilakukan untuk mengetahui kecepatan angin, arah angin dominan, dan jumlah kejadian angin menurut arah. Setelah data pencatatan angin diperoleh, kemudian data angin diolah dengan menggunakan program WRPLOT

dengan memasukkan data arah angin, kecepatan angin, dan waktu pencatatan. Berikut output dari program WRPLOT:

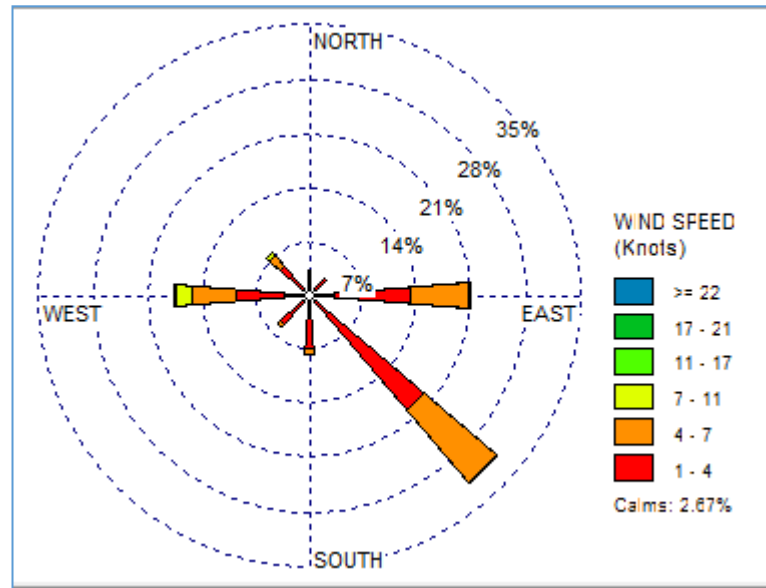
Tabel 4.1 Jumlah Kejadian Angin Pantai Sekitar Muara Kali Porong Tahun 2011-2015

Tabel distribusi frekuensi kejadian angin Selat Madura 01/01/2011 sd 31/12/2015								
Frequency Distribution								
dalam bentuk frekuensi kejadian								
	Direction / Wind Classes (Knots)	1-4	4-7	7-11	11-17	17-21	>= 22	Total
1	337.5 - 22.5	1429	12	0	0	0	0	1441
2	22.5 - 67.5	1356	17	0	0	0	0	1373
3	67.5 - 112.5	5768	3255	130	0	0	0	9153
4	112.5 - 157.5	8575	5240	112	0	0	0	13927
5	157.5 - 202.5	3036	296	0	0	0	0	3332
6	202.5 - 247.5	2266	235	0	0	0	0	2501
7	247.5 - 292.5	4181	2473	951	51	0	0	7656
8	292.5 - 337.5	2278	814	168	1	0	0	3261
	Sub-Total	28889	12342	1361	52	0	0	42644
	Calms							0
	Missing/Incomplete							1
	Total							42645

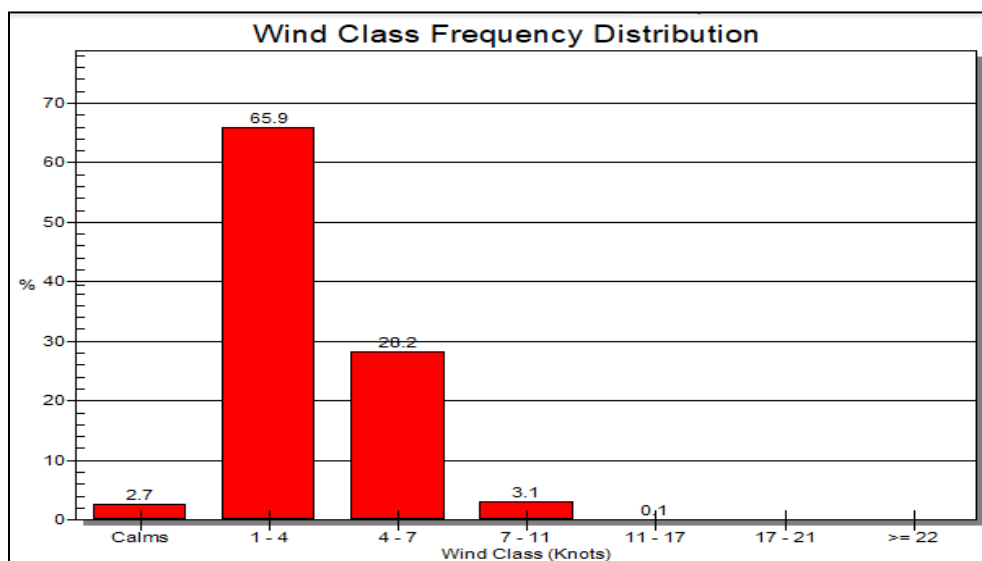
Tabel 4.2 Persentase Kejadian Angin Pantai Sekitar Muara Kali Porong Tahun 2011-2015

Tabel distribusi frekuensi kejadian angin Selat Madura 01/01/2011 sd 31/12/2015								
Frequency Distribution								
dalam bentuk %								
	Direction / Wind Classes (Knots)	1-4	4-7	7-11	11-17	17-21	>= 22	Total
1	337.5 - 22.5	0.03261	0.00027	0	0	0	0	0.03288
2	22.5 - 67.5	0.03095	0.00039	0	0	0	0	0.03134
3	67.5 - 112.5	0.13164	0.07429	0.00297	0	0	0	0.2089
4	112.5 - 157.5	0.1957	0.11959	0.00256	0	0	0	0.31785
5	157.5 - 202.5	0.06929	0.00676	0	0	0	0	0.07605
6	202.5 - 247.5	0.05172	0.00536	0	0	0	0	0.05708
7	247.5 - 292.5	0.09542	0.05644	0.0217	0.00116	0	0	0.17472
8	292.5 - 337.5	0.05199	0.01858	0.00383	0.00002	0	0	0.07442
	Sub-Total	0.65932	0.28168	0.03106	0.00118	0	0	0.97324
	Calms							0
	Missing/Incomplete							0
	Total							1.0

Dari tabel 4.1 dan 4.2 terlihat bahwa arah angin dominan bertiup dari arah Tenggara dengan jumlah kejadian 13927 dengan presentase 31.785 % dari seluruh kejadian dalam kurun waktu 5 tahun. Data diatas jika disajikan dalam bentuk diagram mawar angin dan diagram batang adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 Mawar Angin (Stasiun Meterorologi Maritim Tanjung Perak Tahun 2011-2015)

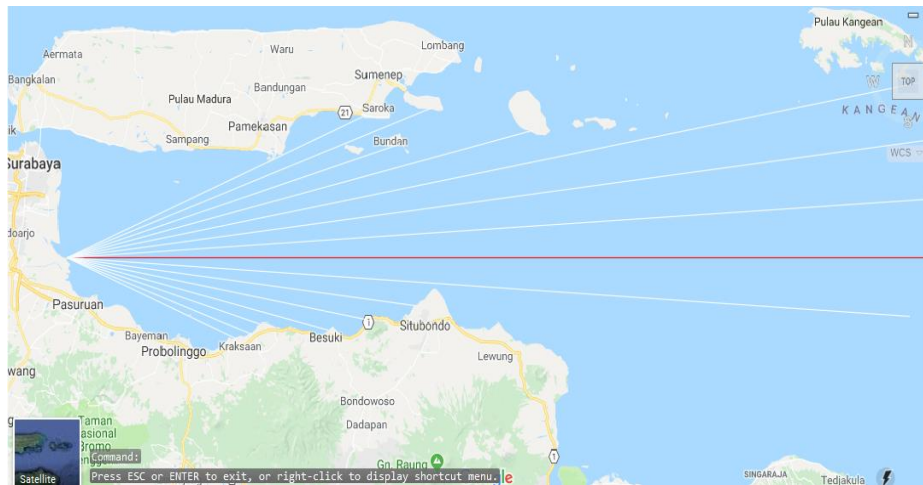


Gambar 4.3 Grafik Distribusi Frekuensi Angin (Stasiun Meterorologi Maritim Tanjung Perak Tahun 2011-2015)

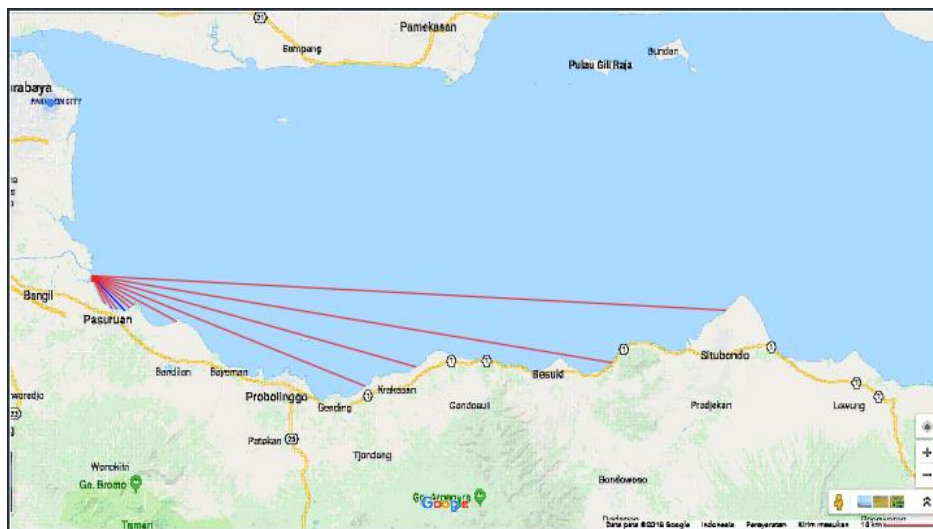
4.3.2 Analisis Gelombang

Setelah dilakukan analisis data angin dan didapatkan arah angin dominan, kemudian dilakukan perhitungan panjang fetch (panjang daerah pembangkitan gelombang). Panjang fetch berpengaruh terhadap karakteristik gelombang, bila fetch semakin panjang maka akan terbentuk gelombang dengan periode besar.

Apabila bentuk daerah pembangkit gelombang tidak teratur, maka untuk perhitungan fetch efektif dapat dilakukan dengan persamaan (2.1).



Gambar 4.4 Peta untuk Perhitungan Panjang Fetch Efektif Arah Dominan Timur
(sumber: google map 2018)



Gambar 4.5 Peta untuk Perhitungan Panjang Fetch Efektif Arah Dominan
Tenggara (sumber: google map 2018)

Hasil perhitungan fetch efektif dapat disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 4.3 Perhitungan Fetch Efektif Angin Dominan Timur

α	$\cos a$	X_i (km)	$X_i \cos a$
42	0.74	117.05	86.98
36	0.81	140.47	113.64
30	0.87	126.10	109.21
24	0.91	173.90	158.86
18	0.95	250.00	237.76
12	0.98	250.00	244.54
6	0.99	250.00	248.63
0	1.00	250.00	250.00
6	0.99	250.00	248.63
12	0.98	127.32	124.54
18	0.95	111.67	106.20
24	0.91	97.54	89.10
30	0.87	73.32	63.50
36	0.81	70.84	57.31
42	0.74	66.51	49.43
Σ	13.51		2188.35
$F_{eff} =$	161.97	km	$= 161968.65$ m

Tabel 4.4 Perhitungan Fetch Efektif Angin Dominan Tenggara

α	$\cos a$	X_i (km)	$X_i \cos a$
42	0.74	126.08	93.69
36	0.81	104.62	84.64
30	0.87	66.57	57.65
24	0.91	58.11	53.08
18	0.95	18.90	17.98
12	0.98	9.99	9.78
6	0.99	9.67	9.62
0	1.00	9.36	9.36
6	0.99	8.07	8.02
12	0.98	7.33	7.17
18	0.95	5.89	5.61
24	0.91	1.24	1.14
30	0.87	1.20	1.04
36	0.81	1.21	0.98
42	0.74	1.14	0.85
Σ	13.51		360.60

$F_{eff} =$	26.69	km	=	26689.65	m
-------------	-------	----	---	----------	---

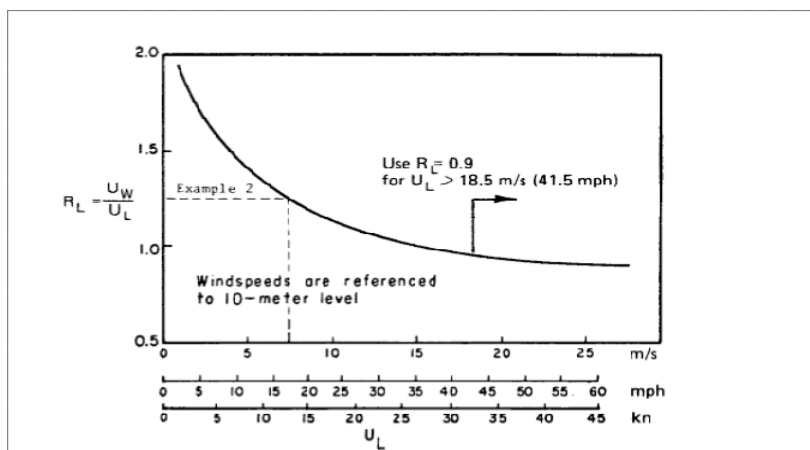
Nilai α_0 adalah nilai untuk arah angin dominan, dengan X_i merupakan jarak dari lokasi studi ke daratan terdekat. Sama halnya dengan sudut-sudut yang lain. Setelah mendapatkan jarak untuk tiap-tiap sudut, maka nilai fetch efektif dapat diperoleh dari perhitungan berikut:

$$F_{effitmur} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = 161968.65m$$

$$F_{effitenggan} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = 26689.65m$$

Maka dalam penelitian ini arah angin yang digunakan adalah arah angin dominan Timur yang memiliki panjang fetch terbesar.

Langkah selanjutnya adalah mengubah data angin hasil pencatatan di darat (U_L) menjadi data kecepatan angin di laut (U_W) menggunakan formula (2.2) dimana untuk mendapatkan nilai R_L bisa dilakukan dengan mengplot nilai U_L kedalam grafik berikut ini:



Gambar 4.6. Hubungan R_L dan U_L

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Selanjutnya yaitu data kecepatan angin di atas laut (U_W) yang ada terlebih dahulu harus diubah kedalam Wind Stress Factor (U_A) dengan menggunakan formula

(2.4). Untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang dan periode gelombang di laut dalam, bisa diperoleh dengan memasukkan nilai *wind stress faktor* (U_A), panjang fetch efektif (F_{eff}) ke dalam formulasi *forecasting* gelombang laut dalam sesuai persamaan (2.5) dan (2.6). Dimana hasil perhitungan tersebut dapat disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan H_0 dan T_0

No Data	U_L	U_L	R_L	U_W	U_A	315 °		
	knots	m / s		m / s	m / s	$F_{eff} (m)$	$H_0 (m)$	$T_0 (s)$
1	4	2.06	1.68	3.46	3.27	161968.65	0.67	4.83
2	7	3.61	1.47	5.30	5.52	161968.65	1.14	5.74
3	11	5.67	1.31	7.42	8.35	161968.65	1.72	6.58
4	17	8.76	1.13	9.89	11.90	161968.65	2.45	7.40
5	21	10.82	1.05	11.36	14.10	161968.65	2.90	7.82
6	22	11.33	1.04	11.78	14.75	161968.65	3.04	7.94
						Σ	8.88	32.37

Setelah nilai T_0 dan H_0 diperoleh maka selanjutnya dapat dicari nilai H_{rms} , T_{rms} , $H_{0\ 1/3}$ dan $T_{0\ 1/3}$ dengan menggunakan persamaan (2.7), (2.8), (2.9), dan (2.10). dari hasil perhitungan maka didapatkan hasil tinggi dan periode gelombang signifikan yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan

90 °		$H_{0\ 1/3} (m)$	$= 1.42 \times H_{rms}$	
n	$n \times H_0^2 (m)$	H_{rms}	$H_{0\ 1/3} (m)$	$n \times T_0^2 (s)$
28889	13068.81	0.8840	1.2553	673878.62
12342	15925.85			406869.50
1361	4021.12			58972.88
52	311.64			2845.52
0	0.00			0.00
0	0.00			0.00
42644	33327.41			1142566.52
H_{rms}	0.88404		T_{rms}	5.1762
			$T_{0\ 1/3} (s)$	7.3502

Dari 4.5 di atas dapat diketahui bahwa nilai dari $H_{0\ 1/3}$ dan $T_{0\ 1/3}$ adalah 1.2553 m dan 7.3502 s.

4.3.3 Analisis Refraksi, Shoaling, dan Gelombang Pecah

Untuk melakukan analisis refraksi, shoaling, dan gelombang pecah dapat dilakukan perhitungan menggunakan Ms. Excel. Untuk melakukan analisis shoaling, refraksi, dan gelombang pecah data dan asumsi yang digunakan adalah:

1. Data gelombang yang digunakan adalah data gelombang signifikan yang didapat dari peramalan gelombang akibat angin (Tabel 4.5)
2. Kemiringan pantai didapatkan dari selisih tinggi antar kontur yang ditinjau dibagi dengan jarak antar kontur kedalaman yang didapatkan dari peta bathymetri yang kemudian diolah dengan menggunakan Autocad.
3. Data gelombang yang diperhitungkan adalah dari arah Tenggara.
4. Kontur dasar laut dianggap paralel terhadap garis pantai.

Dari hasil perhitungan pembangkitan gelombang oleh angin didapatkan hasil tinggi dan periode gelombang signifikan dengan jumlah orthogonal gelombang yang digunakan adalah sebanyak 3 pias. Berikut perhitungan refraksi yang dilakukan:

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Refraksi untuk Pias 1

a o	Ho(m)	T(s)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	d/Lo	d/L	L(m)	C(m/s)	sin a	a	cosa o	cosa	Kr	Ks	H'o(m)
19	1.26	7.35	84.28	11.47	44	0.522	0.52	84.06	11.44	0.32	19	0.946	0.946	1.000	0.992	1.245
37	1.25	7.35	84.06	11.44	40	0.476	0.48	83.62	11.38	0.60	37	0.799	0.801	0.999	0.988	1.228
33	1.23	7.35	83.62	11.38	36	0.431	0.43	82.82	11.27	0.54	33	0.839	0.842	0.998	0.982	1.204
48	1.20	7.35	82.82	11.27	32	0.386	0.4	80.69	10.98	0.72	46	0.669	0.690	0.985	0.973	1.154
46	1.15	7.35	80.69	10.98	28	0.347	0.36	78.85	10.73	0.70	45	0.695	0.711	0.988	0.963	1.098
33	1.10	7.35	78.85	10.73	24	0.304	0.32	76.01	10.34	0.53	32	0.839	0.851	0.993	0.950	1.035
17	1.04	7.35	76.01	10.34	20	0.263	0.28	71.63	9.74	0.28	16	0.956	0.961	0.997	0.937	0.968
50	0.97	7.35	71.63	9.74	16	0.223	0.24	65.41	8.90	0.70	44	0.643	0.715	0.948	0.924	0.848
24	0.85	7.35	65.41	8.90	12	0.183	0.21	56.92	7.74	0.35	21	0.914	0.935	0.988	0.915	0.767
13	0.77	7.35	56.92	7.74	8	0.141	0.18	45.51	6.19	0.18	10	0.974	0.984	0.995	0.914	0.698
11	0.70	7.35	45.51	6.19	4	0.088	0.13	30.67	4.17	0.13	7	0.982	0.992	0.995	0.944	0.655
24	0.66	7.35	30.67	4.17	2	0.065	0.11	18.32	2.49	0.24	14	0.914	0.970	0.970	0.981	0.624
2	0.62	7.35	18.32	2.49	1	0.055	0.1	10.07	1.37	0.02	1	0.999	1.000	1.000	1.007	0.628

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Refraksi untuk Pias 2

a o	Ho(m)	T(s)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	d/Lo	d/L	L(m)	C(m/s)	sin a	a	cos a o	cos a	Kr	Ks	H'o(m)
24	1.26	7.35	84.28	11.47	44	0.522	0.52	84.06	11.44	0.41	24	0.914	0.914	1.000	0.992	1.245
9	1.24	7.35	84.06	11.44	40	0.476	0.48	83.62	11.38	0.16	9	0.988	0.988	1.000	0.988	1.230
30	1.23	7.35	83.62	11.38	36	0.431	0.43	82.82	11.27	0.50	30	0.866	0.869	0.998	0.982	1.206
37	1.21	7.35	82.82	11.27	32	0.386	0.4	80.69	10.98	0.59	36	0.799	0.810	0.993	0.973	1.165
35	1.17	7.35	80.69	10.98	28	0.347	0.36	78.85	10.73	0.56	34	0.819	0.828	0.995	0.963	1.116
24	1.12	7.35	78.85	10.73	24	0.304	0.32	76.01	10.34	0.39	23	0.914	0.920	0.997	0.950	1.056
2	1.06	7.35	76.01	10.34	20	0.263	0.28	71.63	9.74	0.03	2	0.999	0.999	1.000	0.937	0.990
18	0.99	7.35	71.63	9.74	16	0.223	0.24	65.41	8.90	0.28	16	0.951	0.959	0.996	0.924	0.911
20	0.91	7.35	65.41	8.90	12	0.183	0.21	56.92	7.74	0.30	17	0.940	0.955	0.992	0.915	0.827
7	0.83	7.35	56.92	7.74	8	0.141	0.18	45.51	6.19	0.10	6	0.993	0.995	0.999	0.914	0.754
12	0.75	7.35	45.51	6.19	4	0.088	0.13	30.67	4.17	0.14	8	0.978	0.990	0.994	0.944	0.708
27	0.71	7.35	30.67	4.17	2	0.065	0.11	18.32	2.49	0.27	16	0.891	0.963	0.962	0.981	0.668
3	0.67	7.35	18.32	2.49	1	0.055	0.1	10.07	1.37	0.03	2	0.999	1.000	1.000	1.007	0.673

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Refraksi untuk Pias 3

a o	Ho(m)	T(s)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	d/Lo	d/L	L(m)	C(m/s)	sin a	a	cos a o	cos a	Kr	Ks	H'o(m)
23	1.26	7.35	84.28	11.47	44	0.522	0.52	84.06	11.44	0.39	23	0.921	0.921	1.000	0.992	1.245
52	1.24	7.35	84.06	11.44	40	0.476	0.48	83.62	11.38	0.78	52	0.616	0.621	0.996	0.988	1.225
21	1.22	7.35	83.62	11.38	36	0.431	0.43	82.82	11.27	0.35	21	0.934	0.935	0.999	0.982	1.202
1	1.20	7.35	82.82	11.27	32	0.386	0.4	80.69	10.98	0.02	1	1.000	1.000	1.000	0.973	1.170
6	1.17	7.35	80.69	10.98	28	0.347	0.36	78.85	10.73	0.10	6	0.995	0.995	1.000	0.963	1.126
50	1.13	7.35	78.85	10.73	24	0.304	0.32	76.01	10.34	0.74	48	0.643	0.674	0.976	0.950	1.045
48	1.04	7.35	76.01	10.34	20	0.263	0.28	71.63	9.74	0.70	44	0.669	0.714	0.968	0.937	0.948
25	0.95	7.35	71.63	9.74	16	0.223	0.24	65.41	8.90	0.39	23	0.906	0.923	0.991	0.924	0.868
6	0.87	7.35	65.41	8.90	12	0.183	0.21	56.92	7.74	0.09	5	0.995	0.996	0.999	0.915	0.794
19	0.79	7.35	56.92	7.74	8	0.141	0.18	45.51	6.19	0.26	15	0.946	0.966	0.990	0.914	0.718
16	0.72	7.35	45.51	6.19	4	0.088	0.13	30.67	4.17	0.19	11	0.961	0.983	0.989	0.944	0.670
25	0.67	7.35	30.67	4.17	2	0.065	0.11	18.32	2.49	0.25	15	0.906	0.968	0.968	0.981	0.636
2	0.64	7.35	18.32	2.49	1	0.055	0.1	10.07	1.37	0.02	1	0.999	1.000	1.000	1.007	0.641

Dimana:

d : kedalaman (m)

H'o' : tinggi gelombang laut setelah melewati kontur (m)

H₀ : tinggi gelombang laut dalam sebelum melewati kontur (m)

- L_0 : panjang gelombang laut dalam sebelum melewati kontur kedalaman yang ditinjau (m/s)
- L : panjang gelombang setelah melewati kontur kedalaman yang ditinjau(m/s)
- C_0 : cepat rambat gelombang laut dalam sebelum melewati kontur kedalaman yang ditinjau (m/s)
- C : cepat rambat gelombang setelah melewati kontur kedalaman yang ditinjau(m/s)
- K_r : koefisien refraksi
- K_s : koefisien shoaling (pendangkalan)
- ao : sudut datang garis orthogonal gelombang laut terhadap kontur kedalaman yang ditinjau
- a : sudut orthogonal gelombang laut setelah melewati kontur yang ditinjau
- T : Periode gelombang (s)

Untuk perhitungan gelombang pecah, dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.21) yang merupakan hasil percobaan dari Mulk 1949 dimana persamaan ini lebih relevan untuk memprediksi tinggi gelombang pecah (H_b) berdasarkan teori gelombang linear dari Airy. Berikut ini hasil perhitungan gelombang pecah:

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Gelombang Pecah untuk Pias 1

Slope (m)		$m =$	<u>0.0064</u>										
H_0 (m)	L_0 (m)	T (s)	H_0'	H_0'/gT	H_b/H_0'	H_b	α	β	$d_{b \text{ maks}}$	$d_{b \text{ min}}$	db/H_b	db (m)	C_b
1.2553	84.28	7.3502	1.2551	0.0174	1.2317	1.5459	5.0250	0.8288	7.7683	1.2812	1.2283	1.8989	4.3161

Pada Pias 1 diketahui bahwa tinggi gelombang pecah 1.5459 meter dengan kedalaman gelombang pecah sebesar 1.8989 m.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Gelombang Pecah untuk Pias 2

Slope (m)		$m =$	<u>0.0049</u>										
H_0 (m)	L_0 (m)	T (s)	H_0'	H_0'/gT	H_b/H_0'	H_b	α	β	$d_{b \text{ maks}}$	$d_{b \text{ min}}$	db/H_b	db (m)	C_b
1.2553	84.28	7.3502	1.2550	0.0174	1.2317	1.5458	3.8915	0.8173	6.0156	1.2633	1.2408	1.9181	4.3378

Pada Pias 2 diketahui bahwa tinggi gelombang pecah 1.5458 meter dengan kedalaman gelombang pecah sebesar 1.9181 m.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Gelombang Pecah untuk Pias 3

Slope (m)							m =	<u>0.0018</u>						
H ₀ (m)	L ₀ (m)	T (s)	H ₀ '	H0'/gT	Hb/H ₀ '	Hb	α	β	d _b maks	d _b min	db/Hb	db (m)	Cb	
1.2553	84.28	7.3502	1.2550	0.0174	1.2317	1.5458	1.4980	0.7939	2.3156	1.2273	1.2665	1.9578	4.3825	

Pada Pias 1 diketahui bahwa tinggi gelombang pecah 1.5458 meter dengan kedalaman gelombang pecah sebesar 1.9578 m.

4.4 Perhitungan Laju Sedimen Transpor Sepanjang Pantai di Pantai Sekitar Muara Kali Porong

Untuk mendapatkan gambaran tentang transpor sedimen yang mempengaruhi garis pantai akibat gelombang, maka perlu adanya analisis transpor sedimen. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perpindahan angkutan sedimentasi sepanjang pantai. Dalam tugas akhir ini formula yang digunakan untuk mencari transpor sedimen sepanjang pantai menggunakan formula CERC dan Komar, Inman. Sedangkan cara untuk mencari perpindahan sedimen sepanjang pantai dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

$$Q_s = K \times P_1$$

dengan:

Q_s = angkutan sedimen sepanjang pantai (m³/tahun)

P_1 = komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (ton-m/hari/m)

ρ = rapat massa air laut (ton/m³)

H_b = tinggi gelombang saat pecah (m)

C_b = cepat rambat grup gelombang saat pecah (m/s)

α_b = sudut datang gelombang pecah (dari refraksi)

K = konstanta (CERC, 0.401), (Komar, Inman, 0.778)

Dengan menggunakan rumus di atas maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Laju Sedimen Masing-Masing Pias

Pias	Arah	Hb (m)	db (m)	Cb (m/s)	αb	Psb (t-m/hari/m)	CERC		Komar, Inman	
							QS (m ³ /hari)	QS (m ³ /tahun)	QS (m ³ /hari)	QS (m ³ /tahun)
Pias 1	90°	1.5459	1.899	4.316	26.224	5.139	2.061	752.210	3.998	1459.400
Pias 2	90°	1.5458	1.918	4.338	28.965	5.520	2.214	807.962	4.295	1567.568
Pias 3	90°	1.5458	1.958	4.382	25.970	5.182	2.078	758.474	4.032	1471.553

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan laju transpor sedimen pertahunnya dilokasi studi untuk formula CERC (pias 1 sebesar 752,210 m³, untuk pias 2 sebesar 807, 962 m³, dan untuk pias 3 sebesar 758.474 m³), sedangkan untuk formula Komar, Inman ((pias 1 sebesar 1459.400 m³, untuk pias 2 sebesar 1567,568 m³, dan untuk pias 3 sebesar 1471.553 m³).

4.5 Perhitungan Perubahan Garis Pantai

Analisis perubahan garis pantai dilakukan dengan membagi garis pantai menjadi beberapa sel (ruas). Pada setiap sel ditinjau angkutan sedimen yang masuk dan keluar. Untuk perhitungan sedimen transpor masing-masing pias pada penelitian ini dengan membandingkan 2 formula yaitu CERC dan Komar, Inman. Dari kedua kostanta akan dibandingkan nilai erornya, untuk mendapatkan nilai eror terkecil yang akan digunakan dalam perhitungan prediksi garis pantai untuk sepuluh tahun ke depan.

Untuk perhitungan perubahan garis pantai diperlukan data dan asumsi dasar sebagai berikut:

1. Data bathymetri dan data gelombang (periode, tinggi, dan arah gelombang).
 2. Panjang garis pantai yang dianalisis sepanjang 8 km, dibagi dalam 100 pias (dimana jarak antar pias (Δx) sebesar 80 m).
 3. Menghitung transpor sedimen (Q_s) pada setiap pias berdasarkan tinggi dan periode gelombang dengan formula CERC dan Komar, Inman..
 4. Menghitung perubahan garis pantai untuk jangka waktu 10 tahun (2014-2024).
- Berdasarkan data di atas selanjutnya dilakukan perhitungan perubahan garis pantai dengan menggunakan program Excel pada tiap-tiap pias untuk waktu 10 tahun.

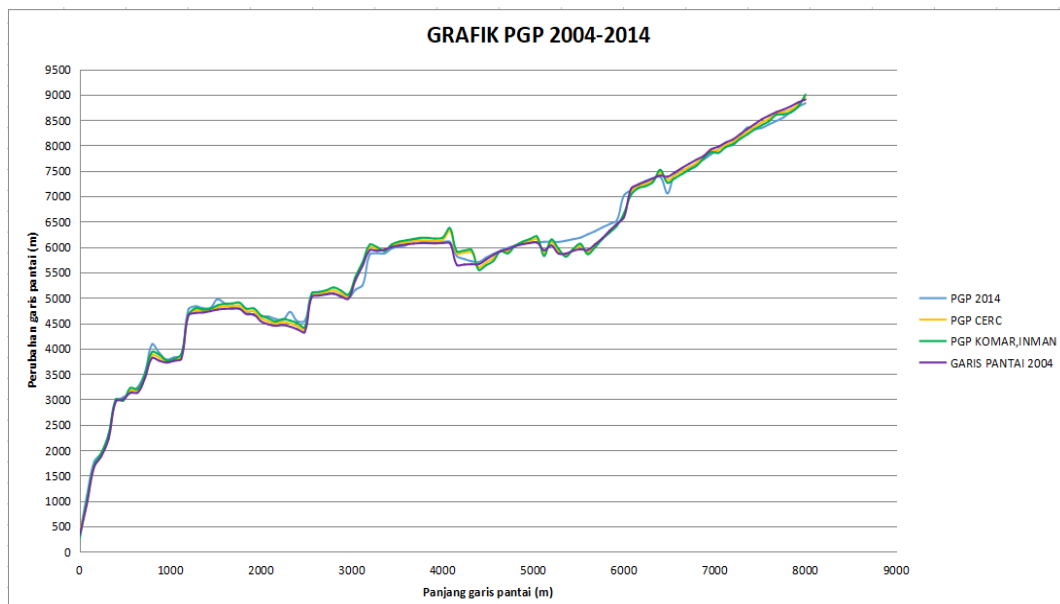
Untuk perubahan garis pantai dimasing-masing pias (Δy) dihitung dengan menggunakan formula berikut ini:

$$D_{y(1hari)} = -\left(\frac{1}{d_b}\right)\left(\frac{Q_s}{\Delta x}\right)$$

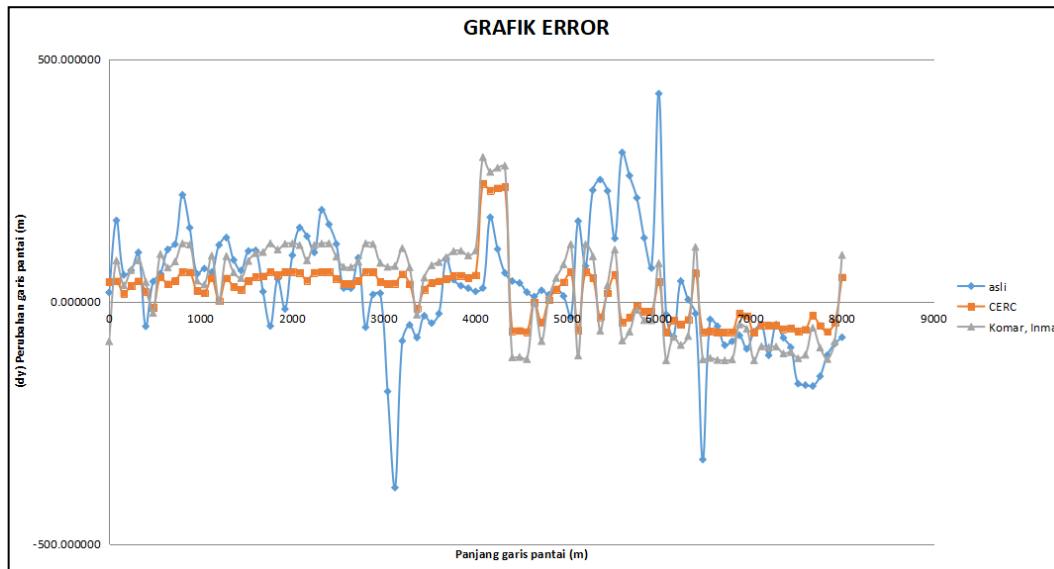
4.5.1 Perhitungan Perubahan Garis Pantai dari Tahun 2004 ke 2014

Sebelum melakukan perhitungan untuk analisis perubahan garis pantai tahun 2014-2024 terlebih dahulu dilakukan perhitungan perubahan garis pantai dari tahun 2004-2014. Perhitungan ini bertujuan untuk menghasilkan nilai error dari formula yang digunakan. Dimana koreksi error didapatkan dari hasil perbandingan antara perhitungan dengan kondisi sebenarnya tahun 2014. Dari kedua formula yang digunakan, formula dengan nilai error terkecil dan memenuhi syarat nilai error yang akan digunakan untuk menghitung perubahan garis pantai 10 tahun kedepan dari tahun 2014-2024.

Setelah perubahan garis pantai di tiap-tiap pias diperhitungkan dalam program excel menggunakan formula CERC dan Komar, Inman seperti yang dijelaskan sebelumnya, hasil tersebut dapat disajikan dalam grafik perubahan garis pantai berikut.



Gambar 4.7 Grafik hasil perbandingan PGP hasil perhitungan dan PGP sebenarnya.



Gambar 4.8 Grafik error tiap pias

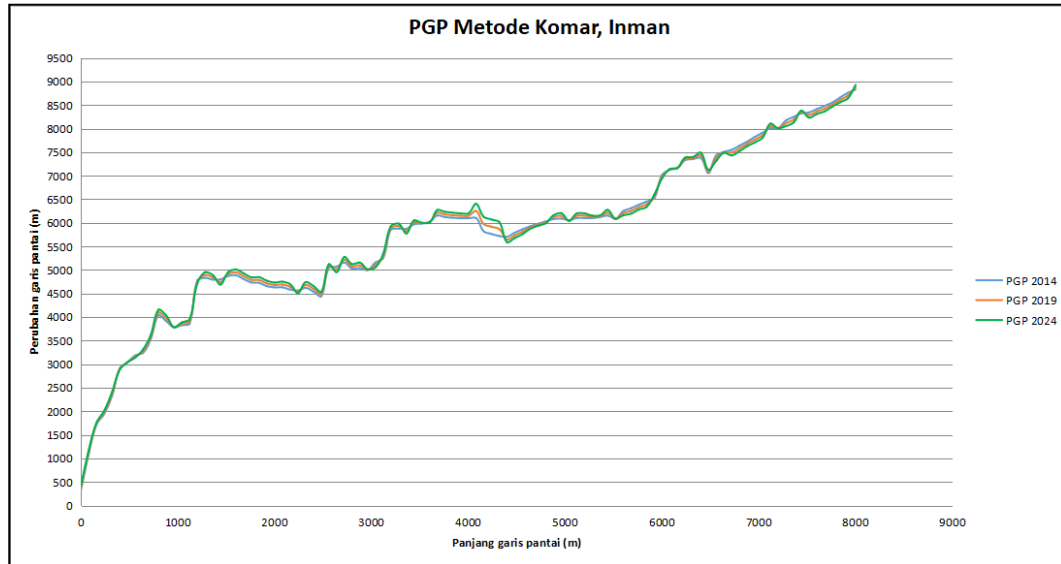
Tabel 4.14 Nilai error masing-masing formula

	Total Perubahan Garis Pantai (m)	Error (%)
CERC	5225.911804	46.26563709
Komar, Inman	9378.810618	3.564309484
2014 asli	9725.455968	0

Hasil penerapan dua formulasi sedimen transportasi berbeda pada gambar. 4.5 menunjukkan bahwa formulasi Komar-Inman (kurva hijau) memberikan hasil terbaik. Referensi validasi adalah perbandingan jumlah perubahan garis pantai dengan kondisi riil 2014 (kurva biru-terang). Kurva hijau memberikan jumlah perubahan garis pantai sebesar 9378,810618 m. Ini adalah nilai terdekat ke 9725,455968 m yang merupakan jumlah perubahan garis pantai asli tahun 2014 dengan nilai error sebesar 3.5643%. Sedangkan CERC memberikan hasil 46.2656% . Tabel 4.13 menunjukkan catatan detail nilai *error*. Oleh karena itu, penelitian ini memutuskan formulasi transportasi sedimen Komar-Inman yang akan digunakan dalam perhitungan estimasi perubahan garis pantai tahun 2014-2024.

4..5.2 Perhitungan Perubahan Garis Pantai dari Tahun 2014-2024

Setelah mendapatkan formula dengan eror terkecil maka dilakukan perhitungan garis pantai untuk estimasi perubahan garis pantai selama 10 tahun dari tahun 2014 sampai tahun 2024 dengan menggunakan formula Komar, Inman. Hasil perhitungan perubahan garis pantai tersebut disajikan dalam bentuk grafik berikut.



Gambar 4.9 Grafik perubahan garis pantai (2014-2024)

Dari perhitungan perubahan garis pantai, didapatkan hasil perubahan garis pantai selama sepuluh tahun dari tahun 2014 sampai 2024 sebesar 9447,0697 m dengan perubahan garis pantai rata-rata adalah 93,535 m persepuluh tahun. Dimana rata-rata penambahan garis pantai sebesar 97,91 m persepuluh tahun dan rata-rata kemunduran garis pantai sebesar 84,49 m persepuluh tahun.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

1. Kesimpulan

Dari penelitian tugas akhir ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Formula yang paling cocok untuk perhitungan perubahan garis pantai di sekitar muara kali Porong adalah formula transpor sedimen sepanjang pantai dari Komar, Inman dengan nilai error sebesar 3,564%.
2. Laju transpor sedimen sepanjang pantai di lokasi penelitian untuk formula CERC sebesar (pias 1 sebesar 752,210 m³/tahun, piase 2 sebesar 807, 962 m³/tahun, dan piase 3 sebesar 758,474 m³/tahun), sedangkan untuk formula Komar, Inman (piase 1 sebesar 1459.400 m³/tahun, piase 2 sebesar 1567,568 m³/tahun, dan piase 3 sebesar 1471,553 m³/tahun)
3. Total perubahan garis pantai selama 10 tahun dari tahun 2014 sampai 2024 adalah sebesar 9447,0697 m. dengan rata-rata perubahan garis pantai sebesar 93,535 m persepuluh tahun.

2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Agar penelitian selanjutnya meneliti tentang cara memaksimalkan lahan dari perubahan garis pantai yang terjadi di sekitar Muara Kali Porong.
2. Agar penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian cara mencegah garis pantai yang mengalami erosi.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

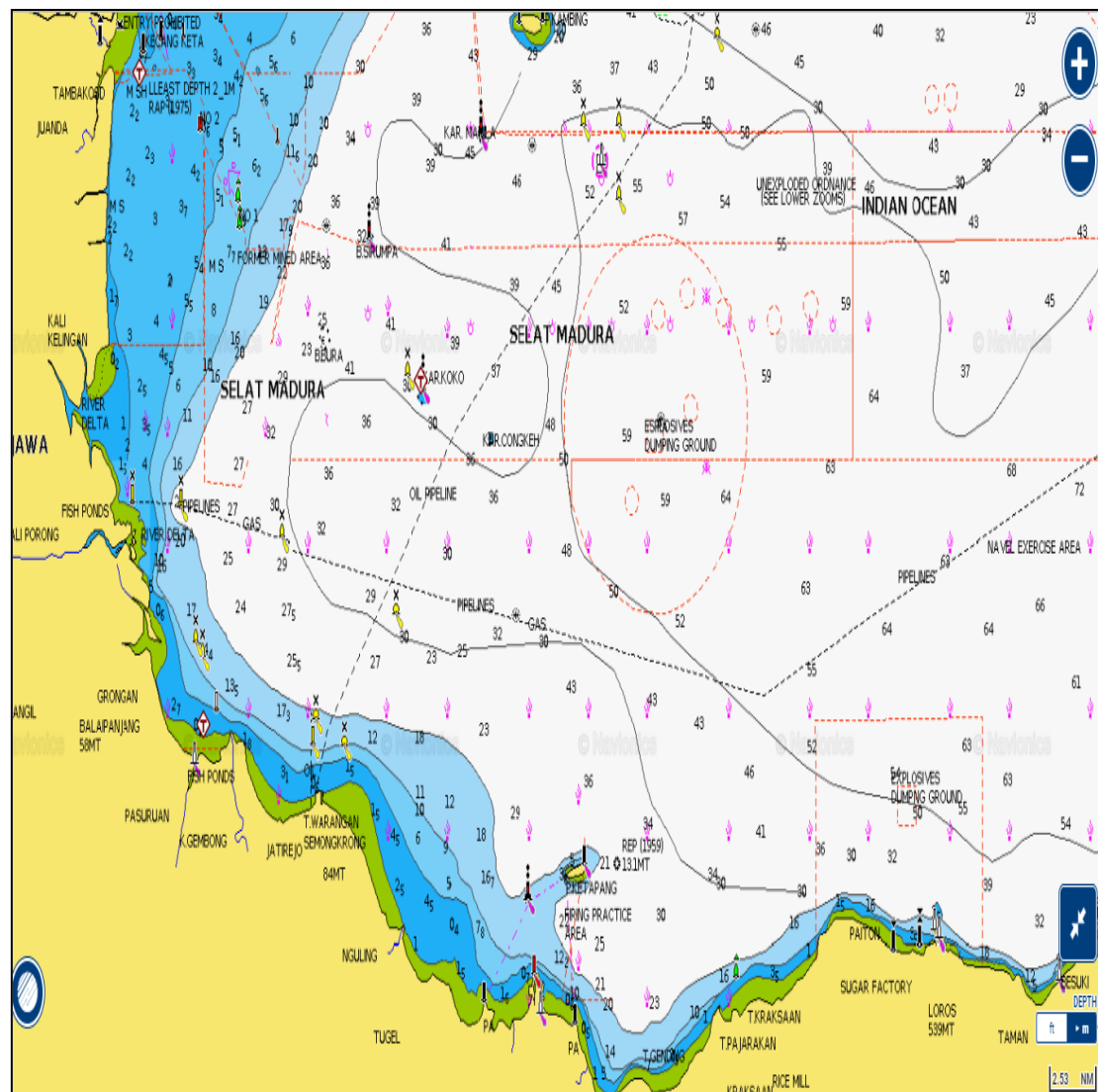
DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, Huda, dkk. 2011. Model sederhana 2-Dimensi Arah Pergerakan Sedimen di Sungai Porong Jawa Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*. Volum 9. No. 3.
- Baker I. dan Pramuk Kaeonian (1998) *Manual Of Coastal Development Planning and Management For Thailand*. Environmental and Resources Research Division, Thailand Institute of Scientific and Technological Research.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual Volume I & II*. U.S Army, Coastal Engineering Research Center, Washington.
- Cittopacama, Kukuh Kumara. 2009. Analisa Perubahan Garis Pantai Akibat Breakwater di Kawasan Banyusangka. *Tugas Akhir*. Departemen Teknik Kelautan, FTK ITS. Surabaya.
- Duxbury, A.B.; A.C. Duxbury dan K.A Sverdrup, 2002. *Fundamental of Oceanography*, Fourth Edition. Mc Greaw-Hill, Boston.
- Fahmi, M. Yunan. 2012. Model Pengembangan Geo-Eco Tourism Pulau Lumpur di Kabupaten Sidoarjo. *Tugas Akhir*. Departemen Teknik Kelautan, FTK ITS. Surabaya.
- Gowthaman, Rajamanickam, dkk. 2015. Nearshore waves and longshore sediment transport along Rameshwaram Island off the east coast of India. *International Journal Naval Architecture Ocean Engineering*.7: 939-950.
- Gross, M.G., 1990. *Oceanography*, 5th edn. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey. 441 pp.
- Herman; Osawa, Takahiro;Arthana, I.W.2010. *Sudy of Total Suspended Solid Matter Distribution Using Satellite Data and Numerical Simulation*, Ecotrophic, Volum 5 No. 1.2007.P.57-62
- <https://www.navionics.com/aus/charts?format=Regions&charts=NavionicsPlus?newnavionicsregions/> (diakses pada 1 April 2018)
- <https://jatim.bps.go.id/statictable/2016/04/29/330/jumlah-penduduk-dan-laju-pertumbuhan-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-timur-2010-2014-dan-2015.html> (diakses pada 10 September 2017)
- Kamphuis, J.W.,2002. Alongshore transport of sand. *Proceedings of the 28th International Conference on Coastal Engineering*. ASCE, pp.2330- 2345
- Komar, P.D.1984. *Computer Models of Shoreline Change*, CRC. Handbook of Coastal Processes and Erosion, Chapter 10, page 205-216, CRC. Press, Inc, Boca Raton. Florida.
- Kusumaningtyas, Astrid Hardianti, 2007. Studi Pemodelan Penyebaran Lumpur Porong di Pesisir Timur Sidoarjo. *Tugas Akhir*. Departemen Teknik Kelautan, FTK ITS. Surabaya.
- Nontji, A. 1987. *Laut Nusantara*. Djambatan. Jakarta.
- Pratikto, W.A, Armono H.D, Suntoyo. 1997. *Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut*. Edisi Pertama. BPFE. Yogyakarta.
- Pratikto, dkk. 2000. *Struktur Perlindungan Pantai*. Hibah Pengajaran DUE-Like, FTK ITS. Surabaya.
- Pond, Stephen and George L. Pickard. 1983. *Introductory Dynamical Oceanography*. Oxford. Elsevier Butterworth-Heinemann.

- Ronggodigdo, S.. 2011. Kajian Sedimentasi Serta Hubungannya Terhadap pendangkalan di Muara Sungai Belawan. *Tugas Akhir* Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik-USU. Sumatera Utara.
- Sidhi, Made Dwinanda. 2014. Analisa Perubahan Garis Pantai di Kabupaten Bandung Akibat Kenaikan Muka Air Laut Menggunakan Metode Modifikasi Bruun Rule. *Tugas Akhir*. Departemen Teknik Kelautan, FTK ITS. Surabaya.
- Triatmodjo, Bambang. 1999, *Teknik Pantai*, Beta offset, Yogyakarta.
- Valsamidis, Anonious and Dominic E. Reeve. 2016. Modelling shoreline evolution in the vicinity of a groyne and a river. *Continental Shelf Research*. 132 (2017) 49-57.
- Vreugdenhil, C. B., 1999. *Transport Problems in Shallow Water, Battle-neeks and Appropriate Modeling: Twente University*, Department of Civil Engineering and Management. Seminar on Sediment Transport Modelling.
- Wahyudi, H., (1997), "*Teknik Reklamasi*" Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - ITS. Surabaya.

LAMPIRAN

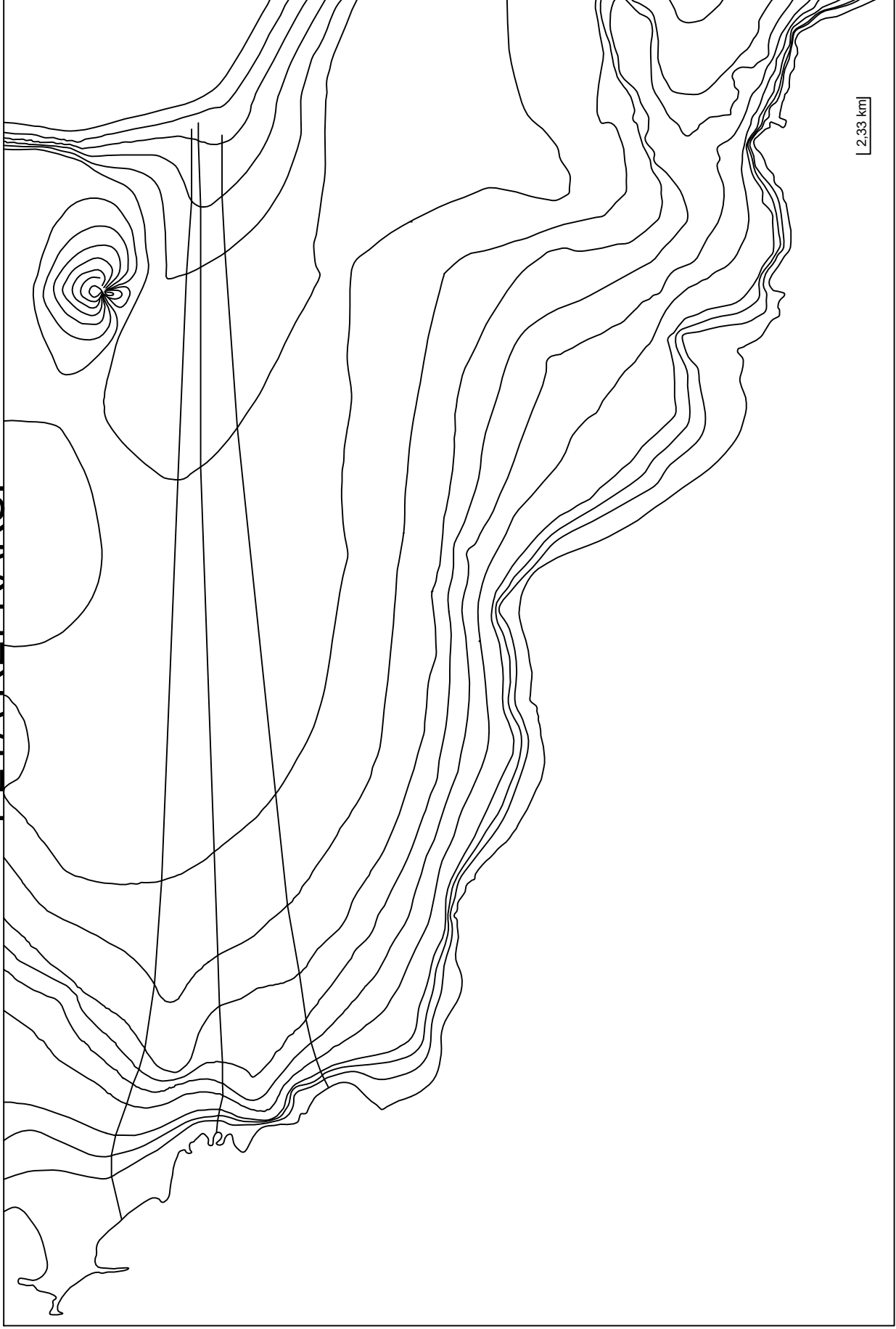
LAMPIRAN A: PETA BATHYMETRI



Peta Bathymetri

(sumber: <https://www.navionics.com/aus/charts?format=Regions&charts=NavionicsPlus?newnavionicsregions/> (diakses 1 April 2018))

PETA REFRAKSI



LAMPIRAN C : GARIS PANTAI 2004 DAN 2014

no	tahun	autocad	asli	$\delta Y_{(i)}$ (m)	no	tahun	autocad	asli
1	2004	0,1954	323,6103923	18,91606407	1	2014	0,2116	342,5264564
2	2004	0,5628	932,0774247	167,5360999	2	2014	0,6793	1099,613525
3	2004	1,0062	1666,411345	54,98138321	3	2014	1,0634	1721,392728
4	2004	1,1359	1881,213125	64,51844666	4	2014	1,2020	1945,731572
5	2004	1,3438	2225,525308	101,4207271	5	2014	1,4375	2326,946035
6	2004	1,7899	2964,330815	-51,05609334	6	2014	1,7997	2913,274721
7	2004	1,8102	2997,950523	41,40521674	7	2014	1,8776	3039,355739
8	2004	1,8884	3127,460925	57,88639662	8	2014	1,9678	3185,347322
9	2004	1,8911	3131,932512	107,5001177	9	2014	2,0012	3239,43263
10	2004	2,0622	3415,298623	118,2599854	10	2014	2,1829	3533,558609
11	2004	2,3041	3815,919677	220,1166233	11	2014	2,4933	4036,0363
12	2004	2,2703	3759,942035	152,4029196	12	2014	2,4169	3912,344955
13	2004	2,2492	3724,997412	56,87668983	13	2014	2,3363	3781,874102
14	2004	2,269	3757,789049	68,1149192	14	2014	2,3635	3825,903968
15	2004	2,2903	3793,0649	60,5196085	15	2014	2,3806	3853,584509
16	2004	2,8121	4657,240451	116,7625029	16	2014	2,9492	4774,002954
17	2004	2,8385	4700,962633	131,9626414	17	2014	2,9856	4832,925275
18	2004	2,8435	4709,24335	85,64141604	18	2014	2,9621	4794,884766
19	2004	2,8597	4736,07287	64,15375401	19	2014	2,9654	4800,226624
20	2004	2,8785	4767,208364	104,281489	20	2014	3,0094	4871,489852
21	2004	2,8878	4782,610496	105,5139857	21	2014	3,0197	4888,124481
22	2004	2,8893	4785,094711	20,63564685	22	2014	2,9688	4805,730358
23	2004	2,8893	4785,094711	-50,24616453	23	2014	2,9250	4734,848546
24	2004	2,8246	4677,942242	46,85086214	24	2014	2,9188	4724,793104
25	2004	2,8203	4670,820826	-15,31001076	25	2014	2,8760	4655,510815
26	2004	2,7382	4534,851465	95,56880204	26	2014	2,8605	4630,420267
27	2004	2,7037	4477,714522	152,7057444	27	2014	2,8605	4630,420267
28	2004	2,6858	4448,069558	134,7596037	28	2014	2,8311	4582,829162
29	2004	2,6946	4462,643619	101,4081002	29	2014	2,8195	4564,051719
30	2004	2,6756	4431,176897	189,2455957	30	2014	2,8543	4620,422492
31	2004	2,6444	4379,505227	159,2940686	31	2014	2,8039	4538,799296
32	2004	2,6088	4320,546527	118,7383921	32	2014	2,7424	4439,284919
33	2004	3,0321	5021,591968	27,92139706	33	2014	3,1194	5049,513365
34	2004	3,0454	5043,618673	27,58587566	34	2014	3,1328	5071,204549
35	2004	3,0588	5065,810993	90,28601065	35	2014	3,1852	5156,097003
36	2004	3,0685	5081,875582	-52,73918273	36	2014	3,1068	5029,1364
37	2004	3,0328	5022,751268	14,62150877	37	2014	3,1119	5037,372777
38	2004	3,0069	4979,857158	17,33452201	38	2014	3,0871	4997,19168
39	2004	3,2253	5341,558845	-185,2083056	39	2014	3,1854	5156,350539
40	2004	3,4016	5633,536901	-383,4610223	40	2014	3,2433	5250,075879
41	2004	3,5852	5937,604803	-80,9851472	41	2014	3,6180	5856,619656
42	2004	3,578	5925,680571	-48,01722987	42	2014	3,6310	5877,663341
43	2004	3,5915	5948,038505	-74,09827749	43	2014	3,6287	5873,940228
44	2004	3,6218	5998,219646	-29,09720817	44	2014	3,6875	5969,122438
45	2004	3,6404	6029,023911	-44,28908124	45	2014	3,6971	5984,734829
46	2004	3,6527	6049,394473	-24,71285954	46	2014	3,7218	6024,681613

47	2004	3,6628	6066,12152	89,15660113	47	2014	3,8025	6155,278121
48	2004	3,669	6076,389608	45,38049003	48	2014	3,7818	6121,770098
49	2004	3,6677	6074,236621	32,80289615	49	2014	3,7727	6107,039518
50	2004	3,6657	6070,924335	27,69770831	50	2014	3,7675	6098,622043
51	2004	3,67	6078,045751	20,90004132	51	2014	3,7677	6098,945792
52	2004	3,6674	6073,739778	28,11975491	52	2014	3,7695	6101,859533
53	2004	3,4074	5643,142532	173,9797441	53	2014	3,5936	5817,122276
54	2004	3,4142	5654,404306	108,3281357	54	2014	3,5600	5762,732442
55	2004	3,4178	5660,366422	59,14552667	55	2014	3,5333	5719,511948
56	2004	3,4195	5663,181865	42,40887555	56	2014	3,5247	5705,590741
57	2004	3,4736	5752,779215	38,28126496	57	2014	3,5775	5791,06048
58	2004	3,528	5842,873409	19,57372931	58	2014	3,6216	5862,447138
59	2004	3,573	5917,399855	10,44458351	59	2014	3,6620	5927,844439
60	2004	3,5968	5956,816065	23,3138397	60	2014	3,6943	5980,129904
61	2004	3,6323	6015,60915	14,21622768	61	2014	3,7250	6029,825378
62	2004	3,6547	6052,706759	25,60853194	62	2014	3,7550	6078,315291
63	2004	3,6696	6077,383294	11,5262792	63	2014	3,7615	6088,909573
64	2004	3,6772	6089,969982	-31,86978208	64	2014	3,7425	6058,1002
65	2004	3,5841	5935,783045	166,0764882	65	2014	3,7695	6101,859533
66	2004	3,6398	6028,030225	73,50555977	66	2014	3,7693	6101,535784
67	2004	3,5442	5869,702929	229,890361	67	2014	3,7681	6099,59329
68	2004	3,5452	5871,359073	251,5441467	68	2014	3,7825	6122,903219
69	2004	3,5774	5924,686885	228,3249921	69	2014	3,8011	6153,011878
70	2004	3,5953	5954,33185	130,2455567	70	2014	3,7588	6084,577406
71	2004	3,5871	5940,751475	307,604487	71	2014	3,8600	6248,355962
72	2004	3,6532	6050,222544	259,8076049	72	2014	3,8981	6310,030149
73	2004	3,7251	6169,299244	213,8981818	73	2014	3,9433	6383,197426
74	2004	3,8148	6317,855294	131,3869305	74	2014	3,9841	6449,242225
75	2004	3,8951	6450,843598	69,13778646	75	2014	4,0278	6519,981384
76	2004	3,9753	6583,666287	428,8992215	76	2014	4,3321	7012,565509
77	2004	4,3178	7150,895352	-26,31268516	77	2014	4,4013	7124,582667
78	2004	4,3668	7232,046372	-72,0834008	78	2014	4,4232	7159,962971
79	2004	4,4009	7288,520857	42,34314813	79	2014	4,5287	7330,864005
80	2004	4,4378	7349,632543	4,164425685	80	2014	4,5429	7353,796969
81	2004	4,4716	7405,610185	-24,61829924	81	2014	4,5597	7380,991886
82	2004	4,4577	7382,589794	-325,5087961	82	2014	4,3596	7057,080998
83	2004	4,5092	7467,881172	-36,54631407	83	2014	4,5908	7431,334858
84	2004	4,5626	7556,319222	-50,84583985	84	2014	4,6366	7505,473382
85	2004	4,6129	7639,623227	-89,9581053	85	2014	4,6639	7549,665122
86	2004	4,6606	7718,621261	-81,86765397	86	2014	4,7177	7636,753607
87	2004	4,7061	7793,975779	-69,64806397	87	2014	4,7718	7724,327715
88	2004	4,7831	7921,49881	-97,45639853	88	2014	4,8334	7824,042411
89	2004	4,8147	7973,832937	-61,89266824	89	2014	4,8877	7911,940268
90	2004	4,8638	8055,14957	-46,73209608	90	2014	4,9473	8008,417474
91	2004	4,9012	8117,089328	-110,7762225	91	2014	4,9460	8006,313106
92	2004	4,963	8219,438981	-47,52825526	92	2014	5,0483	8171,910726
93	2004	5,0252	8322,451092	-74,55034462	93	2014	5,0952	8247,900747
94	2004	5,0826	8417,513715	-94,41219939	94	2014	5,1417	8323,101516

95	2004	5,141	8514,232481	-169,2779071	95	2014	5,1552	8344,954574
96	2004	5,185	8587,102784	-172,2184235	96	2014	5,1984	8414,884361
97	2004	5,2264	8655,667115	-174,0904575	97	2014	5,2396	8481,576658
98	2004	5,2577	8707,504399	-153,8935859	98	2014	5,2841	8553,610813
99	2004	5,2956	8770,272229	-110,3098644	99	2014	5,3498	8659,962364
100	2004	5,3405	8844,633061	-86,89849448	100	2014	5,4102	8757,734566
101	2004	5,3761	8903,591761	-73,49928988	101	2014	5,4549	8830,092471

LAMPIRAN D: PERHITUNGAN PERUBAHAN GARIS PANTAI 2004-2014 FORMULA CERC

Pias	X (m)	Y awal(m)	Tan a _i	Tan a _b	a _b	Sin a _b	Cos a _b	P ₁ (t-m/hari/m)	Q _a (m ² /hari)	Q _a (m ³ /th)	δY ₀ (m)	5 tahun		10 tahun	
												Y _{akhir(m)}	δY ₀ (m)	Y _{akhir(m)}	δY ₀ (m)
1	0	325,610392	-7,606	2,632	69,196	0,935	0,355	4,3703	1,752	639,659	20,420	344,030	40,840	364,450	364,450
2	80	932,077425	-9,179	2,504	68,231	0,929	0,371	4,5335	1,818	663,547	21,183	953,260	42,365	974,443	974,443
3	160	1666,411345	-2,685	7,140	82,027	0,990	0,139	1,8081	0,725	264,647	8,448	1674,860	16,897	1683,308	1683,308
4	240	1881,213125	-4,304	3,481	73,973	0,961	0,276	3,4929	1,401	511,233	16,320	1897,533	32,640	1913,854	1913,854
5	320	2225,525308	-9,235	2,501	68,204	0,929	0,371	4,5381	1,820	664,222	21,204	2246,729	42,408	2267,934	2267,934
6	400	2964,330815	-0,420	0,174	9,852	0,171	0,985	2,1964	0,881	321,479	10,475	2974,806	20,950	2985,281	2985,281
7	480	2997,950523	-1,619	-10,252	-84,429	-0,995	0,097	-1,2589	-0,505	-184,252	-6,004	2991,947	-12,007	2985,943	2985,943
8	560	3127,460925	-0,056	0,514	27,181	0,457	0,890	5,2942	2,123	774,886	25,249	3152,710	50,498	3177,959	3177,959
9	640	3131,932512	-3,542	3,111	72,181	0,952	0,306	3,7956	1,522	555,538	18,102	3150,034	36,203	3168,136	3168,136
10	720	3415,298623	-5,008	2,514	68,307	0,929	0,370	4,4746	1,794	654,927	21,340	3436,639	42,680	3457,979	3457,979
11	800	3815,919677	0,700	0,903	42,093	0,670	0,742	6,4807	2,599	948,549	30,908	3846,827	61,815	3877,735	3877,735
12	880	3759,942035	0,437	0,798	38,573	0,624	0,782	6,3509	2,547	929,556	30,289	3790,231	60,578	3820,520	3820,520
13	960	3724,997412	-0,410	0,186	10,524	0,183	0,983	2,3396	0,938	342,434	11,158	3736,155	22,316	3747,313	3747,313
14	1040	3757,789049	-0,441	0,149	8,470	0,147	0,989	1,8981	0,761	277,812	9,052	3766,841	18,105	3775,894	3775,894
15	1120	3793,064900	-10,802	2,058	64,088	0,899	0,437	5,1210	2,054	749,532	24,423	3817,488	48,846	3841,911	3841,911
16	1200	4657,240451	-0,547	0,010	0,574	0,010	1,000	0,1306	0,052	19,114	0,623	4657,863	1,246	4658,486	4658,486
17	1280	4700,962633	-0,104	0,477	25,518	0,431	0,902	5,0651	2,031	741,348	24,156	4725,119	48,312	4749,275	4749,275
18	1360	4709,243350	-0,335	0,268	14,996	0,259	0,966	3,2563	1,306	476,616	15,530	4724,773	31,060	4740,304	4740,304
19	1440	4736,072870	-0,389	0,209	11,829	0,205	0,979	2,6141	1,048	382,609	12,467	4748,540	24,934	4761,007	4761,007
20	1520	4767,208364	-0,193	0,404	22,001	0,375	0,927	4,5254	1,815	662,354	21,582	4788,791	43,164	4810,373	4810,373
21	1600	4782,610496	-0,031	0,532	27,995	0,469	0,883	5,3999	2,165	790,360	25,753	4808,364	51,506	4834,117	4834,117
22	1680	4785,094711	0,000	0,554	28,965	0,484	0,875	5,5202	2,214	807,962	26,327	4811,421	52,654	4837,748	4837,748
23	1760	4785,094711	1,339	1,087	47,388	0,736	0,677	6,4916	2,603	950,143	30,960	4816,054	61,919	4847,014	4847,014
24	1840	4677,942242	0,089	0,612	31,482	0,522	0,853	5,8023	2,327	849,257	27,672	4705,615	55,345	4733,287	4733,287
25	1920	4670,820826	1,700	1,161	49,260	0,758	0,653	6,4423	2,583	942,933	30,725	4701,546	61,449	4732,270	4732,270
26	2000	4534,851465	0,714	0,909	42,257	0,672	0,740	6,4844	2,600	949,085	30,925	4565,777	61,850	4596,702	4596,702
27	2080	4477,714522	0,371	0,767	37,481	0,608	0,794	6,2911	2,523	920,801	30,004	4507,718	60,007	4537,722	4537,722
28	2160	4448,069558	-0,182	0,413	22,440	0,382	0,924	4,5966	1,843	672,781	21,922	4469,992	43,844	4491,914	4491,914
29	2240	4462,643619	0,393	0,778	37,867	0,614	0,789	6,3133	2,532	924,053	30,109	4492,753	60,219	4522,863	4522,863
30	2320	4431,176897	0,646	0,884	41,462	0,662	0,749	6,4646	2,592	946,190	30,831	4462,008	61,662	4492,839	4492,839
31	2400	4379,505227	0,737	0,917	42,508	0,676	0,737	6,4896	2,602	949,848	30,950	4410,455	61,900	4441,405	4441,405
32	2480	4320,546527	-8,763	2,132	64,872	0,905	0,425	5,0088	2,009	733,118	23,888	4344,435	47,776	4368,323	4368,323
33	2560	5021,591968	-0,275	0,328	18,170	0,312	0,950	3,8602	1,548	564,995	18,410	5040,002	36,820	5058,412	5058,412
34	2640	5043,618673	-0,277	0,326	18,067	0,310	0,951	3,8412	1,540	562,215	18,319	5061,938	36,639	5080,257	5080,257
35	2720	5065,810993	-0,201	0,397	21,644	0,369	0,929	4,4666	1,791	653,753	21,302	5087,113	42,604	5108,415	5108,415
36	2800	5081,875582	0,739	0,917	42,531	0,676	0,737	6,4900	2,603	949,913	30,952	5112,828	61,904	5143,780	5143,780
37	2880	5022,751268	0,536	0,840	40,041	0,643	0,766	6,4168	2,573	939,201	30,603	5053,354	61,206	5083,957	5083,957
38	2960	4979,857158	-4,521	2,641	69,258	0,935	0,354	4,3151	1,730	631,577	20,579	5000,437	41,159	5021,016	5021,016
39	3040	5341,558845	-3,650	3,035	71,763	0,950	0,313	3,8724	1,553	566,786	18,468	5360,027	36,937	5378,495	5378,495
40	3120	5633,536901	-3,801	2,942	71,226	0,947	0,322	3,9699	1,592	581,061	18,933	5652,470	37,867	5671,404	5671,404
41	3200	5937,604803	0,149	0,649	32,985	0,544	0,839	5,9496	2,386	870,814	28,375	5965,980	56,749	5994,354	5994,354
42	3280	5925,680571	-0,279	0,324	17,963	0,308	0,951	3,8221	1,533	559,416	18,228	5943,909	36,456	5962,137	5962,137
43	3360	5948,038505	-0,627	-0,113	-6,445	-0,112	0,994	-1,4532	-0,583	-212,704	-6,931	5941,108	-13,862	5934,177	5934,177

44	3440	5998,219646	-0,385	0,214	12,084	0,209	0,978	2,6671	1,070	390,370	12,720	6010,940	25,440	6023,659
45	3520	6029,023911	-0,255	0,348	19,184	0,329	0,944	4,0435	1,621	591,820	19,284	6048,308	38,568	6067,592
46	3600	6049,394473	-0,209	0,390	21,281	0,363	0,932	4,4062	1,767	644,915	21,014	6070,408	42,028	6091,423
47	3680	6066,121520	-0,128	0,458	24,593	0,416	0,909	4,9302	1,977	721,603	23,513	6089,634	47,026	6113,147
48	3760	6076,389608	0,027	0,572	29,766	0,496	0,868	5,6147	2,251	821,789	26,777	6103,167	53,555	6129,944
49	3840	6074,236621	0,041	0,582	30,182	0,503	0,864	5,6621	2,270	828,727	27,003	6101,240	54,007	6128,243
50	3920	6070,924335	-0,089	0,489	26,039	0,439	0,898	5,1387	2,061	752,129	24,508	6095,432	49,015	6119,939
51	4000	6078,045751	0,054	0,590	30,531	0,508	0,861	5,7009	2,286	834,407	27,188	6105,234	54,377	6132,423
52	4080	6073,739778	5,382	1,492	56,163	0,831	0,557	6,0259	10,254	3742,559	121,948	6195,688	243,896	6317,636
53	4160	5643,142532	-0,141	0,378	20,708	0,354	0,935	4,2882	9,557	3488,229	114,810	5757,953	229,621	5872,763
54	4240	5654,404306	-0,075	0,428	23,176	0,394	0,919	4,7623	9,747	3557,620	117,094	5771,498	234,188	5888,593
55	4320	5660,366422	-0,035	0,460	24,692	0,418	0,909	4,9959	9,841	3591,813	118,220	5778,586	236,439	5896,806
56	4400	5663,181865	-1,120	-1,393	-54,317	-0,812	0,583	-6,2365	-2,501	-912,800	-30,044	5633,138	-60,087	5603,095
57	4480	5752,779215	-1,126	-1,416	-54,763	-0,817	0,577	-6,2030	-2,487	-907,907	-29,883	5722,897	-59,765	5693,014
58	4560	5842,873409	-0,932	-0,814	-39,136	-0,631	0,776	-6,4441	-2,584	-943,195	-31,044	5811,829	-62,088	5780,785
59	4640	5917,399855	-0,493	-0,007	-0,423	-0,007	1,000	-0,0972	-0,039	-14,234	-0,468	5916,931	-0,937	5916,463
60	4720	5956,816065	-0,735	-0,386	-21,107	-0,360	0,933	-4,4221	-1,773	-647,237	-21,303	5935,513	-42,606	5914,210
61	4800	6015,609150	-0,464	0,030	1,729	0,030	1,000	0,3970	0,159	58,102	1,912	6017,522	3,825	6019,434
62	4880	6052,706759	-0,308	0,210	11,872	0,206	0,979	2,6500	1,063	387,861	12,766	6065,473	25,532	6078,239
63	4960	6077,383294	-0,157	0,357	19,653	0,336	0,942	4,1691	1,672	610,209	20,084	6097,467	40,168	6117,552
64	5040	6089,969982	1,927	1,245	51,236	0,780	0,626	6,4262	2,577	940,573	30,958	6120,928	61,915	6151,885
65	5120	5935,783045	-1,153	-1,519	-56,648	-0,835	0,550	-6,0449	-2,424	-884,766	-29,121	5906,662	-58,242	5877,541
66	5200	6028,030225	1,979	1,256	51,467	0,782	0,623	6,4145	2,572	938,860	30,901	6058,932	61,803	6089,833
67	5280	5869,702929	-0,021	0,471	25,227	0,426	0,905	5,0751	2,035	742,812	24,449	5894,152	48,897	5918,600
68	5360	5871,359073	-0,667	-0,266	-14,886	-0,257	0,966	-3,2681	-1,310	-478,330	-15,744	5855,615	-31,487	5839,872
69	5440	5924,686885	-0,371	0,142	8,093	0,141	0,990	1,8346	0,736	268,515	8,838	5933,525	17,676	5942,363
70	5520	5954,331850	0,170	0,607	31,244	0,519	0,855	5,8373	2,341	854,371	28,120	5982,452	56,241	6010,573
71	5600	5940,751475	-1,368	-2,643	-69,274	-0,935	0,354	-4,3569	-1,747	-637,702	-20,989	5919,762	-41,978	5898,773
72	5680	6050,222544	-1,488	-3,641	-74,644	-0,964	0,265	-3,3613	-1,348	-491,971	-16,193	6034,030	-32,385	6017,837
73	5760	6169,299244	-1,857	-14,344	-86,012	-0,998	0,070	-0,9132	-0,366	-133,667	-4,399	6164,900	-8,799	6160,500
74	5840	6317,855294	-1,662	-6,176	-80,803	-0,987	0,160	-2,0768	-0,833	-303,970	-10,005	6307,851	-20,009	6297,846
75	5920	6450,843598	-1,660	-6,133	-80,739	-0,987	0,161	-2,0907	-0,838	-306,009	-10,072	6440,772	-20,144	6430,700
76	6000	6583,666287	-7,090	2,691	69,616	0,937	0,348	4,2977	1,723	629,032	20,704	6604,370	41,407	6625,074
77	6080	7150,895352	-1,014	-1,042	-46,186	-0,722	0,692	-6,5759	-2,637	-962,476	-31,679	7119,217	-63,357	7087,538
78	6160	7232,046372	-0,706	-0,334	-18,445	-0,316	0,949	-3,9507	-1,584	-578,250	-19,032	7213,014	-38,065	7193,982
79	6240	7288,520857	-0,764	-0,441	-23,790	-0,403	0,915	-4,8585	-1,948	-711,121	-23,406	7265,115	-46,811	7241,710
80	6320	7349,632543	-0,700	-0,323	-17,878	-0,307	0,952	-3,8459	-1,542	-562,901	-18,527	7331,105	-37,054	7312,578
81	6400	7405,610185	0,288	0,680	34,200	0,562	0,827	6,1193	2,454	895,651	29,479	7435,089	58,958	7464,568
82	6480	7382,589794	-1,066	-1,205	-50,303	-0,769	0,639	-6,4691	-2,594	-946,848	-31,164	7351,426	-62,328	7320,261
83	6560	7467,881172	-1,105	-1,340	-53,264	-0,801	0,598	-6,3096	-2,530	-923,499	-30,396	7437,485	-60,791	7407,090
84	6640	7556,319222	-1,041	-1,125	-48,357	-0,747	0,664	-6,5364	-2,621	-956,696	-31,488	7524,831	-62,977	7493,343
85	6720	7639,623227	-0,987	-0,964	-43,953	-0,694	0,720	-6,5771	-2,637	-962,659	-31,685	7607,939	-63,369	7576,254
86	6800	7718,621261	-0,942	-0,840	-40,045	-0,643	0,766	-6,4833	-2,600	-948,930	-31,233	7687,389	-62,465	7656,156
87	6880	7793,975779	-1,594	-4,951	-78,582	-0,980	0,198	-2,5543	-1,024	-373,856	-12,305	7781,671	-24,610	7769,366
88	6960	7921,498810	-0,654	-0,245	-13,779	-0,238	0,971	-3,0448	-1,221	-445,659	-14,668	7906,831	-29,337	7892,162

89	7040	7973,832937	-1,016	-1,048	-46,356	-0,724	0,690	-6,5741	-2,636	-962,224	-31,670	7942,163	-63,341	7910,492
90	7120	8055,149570	-0,774	-0,481	-24,751	-0,419	0,908	-5,0047	-2,007	-732,519	-24,110	8031,040	-48,220	8006,930
91	7200	8117,089328	-1,279	-2,102	-64,563	-0,903	0,430	-5,1057	-2,047	-747,296	-24,596	8092,493	-49,192	8067,897
92	7280	8219,438981	-1,288	-2,147	-65,030	-0,907	0,422	-5,0373	-2,020	-737,286	-24,267	8195,172	-48,534	8170,905
93	7360	8322,451092	-1,188	-1,665	-59,007	-0,857	0,515	-5,8104	-2,330	-850,433	-27,991	8294,460	-55,982	8266,469
94	7440	8417,513715	-1,209	-1,756	-60,339	-0,869	0,495	-5,6605	-2,270	-828,494	-27,269	8390,245	-54,537	8362,976
95	7520	8514,232481	-0,911	-0,762	-37,299	-0,606	0,795	-6,3452	-2,544	-928,708	-30,567	8483,665	-61,134	8453,098
96	7600	8587,102784	-0,857	-0,635	-32,419	-0,536	0,844	-5,9570	-2,389	-871,899	-28,697	8558,405	-57,395	8529,708
97	7680	8655,667115	-0,648	-0,235	-13,228	-0,229	0,973	-2,9322	-1,176	-429,173	-14,126	8641,541	-28,251	8627,416
98	7760	8707,504399	-0,785	-0,482	-25,713	-0,434	0,901	-5,1454	-2,063	-753,106	-24,787	8682,717	-49,575	8657,930
99	7840	8770,272229	-0,930	-0,808	-38,954	-0,629	0,778	-6,4355	-2,581	-941,928	-31,002	8739,270	-62,005	8708,268
100	7920	8844,633061	-0,737	-0,390	-21,298	-0,363	0,932	-4,4545	-1,786	-651,981	-21,459	8823,174	-42,918	8801,715
101	8000	8903,591761	111,295	2,025	63,715	0,897	0,443	5,2264	2,096	764,960	25,178	8928,769	50,355	8953,947

LAMPIRAN E: PERHITUNGAN PERUBAHAN GARIS PANTAI 2004-2014 FORMULA KOMAR, INMAN

Pias	X (m)	Y awal(m)	Tan a _i	Tan a _b	a _b	Sin a _b	Cos a _b	P ₁ (t-m/hari/m)	Q _s (m ³ /hari)	Q _s (m ³ /th)	Δy _(t) (m)	5 tahun	10 tahun
1	0	323,610392	-7,606	2,632	69,196	0,935	0,355	4,3703	3,400	1241,033	39,618	Y akhir(m) 363,228	Y akhir(m) 241,917
2	80	932,077425	-9,179	2,504	68,231	0,929	0,371	4,5335	3,527	1287,380	41,097	973,175	84,745
3	160	1666,411345	-2,685	7,140	82,027	0,990	0,139	1,8081	1,407	513,454	16,391	1682,802	33,799
4	240	1881,213125	-4,304	3,481	73,973	0,961	0,276	3,4929	2,717	991,868	31,664	1912,877	65,292
5	320	2225,525308	-9,235	2,501	68,204	0,929	0,371	4,5381	3,531	1288,690	41,139	2266,664	84,831
6	400	2964,330815	-0,420	0,174	9,852	0,171	0,985	2,1964	1,709	623,717	20,323	2984,654	40,647
7	480	2997,950523	-1,619	-10,252	-84,429	-0,995	0,097	-1,2589	-0,979	-357,477	-11,648	2986,302	-23,296
8	560	3127,460925	-0,056	0,514	27,181	0,457	0,890	5,2942	4,119	1503,394	48,987	3176,448	97,974
9	640	3131,932512	-3,542	3,111	72,181	0,952	0,306	3,7956	2,953	1077,827	35,120	3167,053	70,240
10	720	3415,298623	-5,008	2,514	68,307	0,929	0,370	4,4746	3,481	1270,656	41,403	3456,702	82,807
11	800	3815,919677	0,700	0,903	42,093	0,670	0,742	6,4807	5,042	1840,328	59,966	3875,885	119,931
12	880	3759,942035	0,437	0,798	38,573	0,624	0,782	6,3509	4,941	1803,477	58,765	3818,707	117,530
13	960	3724,997412	-0,410	0,186	10,524	0,183	0,983	2,3396	1,820	664,373	21,648	3746,645	43,296
14	1040	3757,789049	-0,441	0,149	8,470	0,147	0,989	1,8981	1,477	538,997	17,563	3775,352	35,126
15	1120	3793,064900	-10,802	2,058	64,088	0,899	0,437	5,1210	3,984	1454,204	47,384	3840,449	94,768
16	1200	4657,240451	-0,547	0,010	0,574	0,010	1,000	0,1306	0,102	37,085	1,208	4658,449	2,417
17	1280	4700,962633	-0,104	0,477	25,518	0,431	0,902	5,0651	3,941	1438,326	46,867	4747,829	93,733
18	1360	4709,243350	-0,335	0,268	14,996	0,259	0,966	3,2563	2,533	924,706	30,131	4739,374	60,262
19	1440	4736,072870	-0,389	0,209	11,829	0,205	0,979	2,6141	2,034	742,319	24,188	4760,261	48,376
20	1520	4767,208364	-0,193	0,404	22,001	0,375	0,927	4,5254	3,521	1285,065	41,873	4809,081	83,746
21	1600	4782,610496	-0,031	0,532	27,995	0,469	0,883	5,3999	4,201	1533,417	49,965	4832,576	99,930
22	1680	4785,094711	0,000	0,554	28,965	0,484	0,875	5,5202	4,295	1567,568	51,078	4836,173	102,156
23	1760	4785,094711	1,339	1,087	47,388	0,736	0,677	6,4916	5,050	1843,419	60,066	4845,161	120,133
24	1840	4677,942242	0,089	0,612	31,482	0,522	0,853	5,8023	4,514	1647,686	53,688	4731,631	107,377
25	1920	4670,820826	1,700	1,161	49,260	0,758	0,653	6,4423	5,012	1829,430	59,610	4730,431	119,221
26	2000	4534,851465	0,714	0,909	42,257	0,672	0,740	6,4844	5,045	1841,366	59,999	4594,851	119,999
27	2080	4477,714522	0,371	0,767	37,481	0,608	0,794	6,2911	4,894	1786,491	58,211	4535,926	116,423
28	2160	4448,069558	-0,182	0,413	22,440	0,382	0,924	4,5966	3,576	1305,295	42,532	4490,602	85,064
29	2240	4462,643619	0,393	0,778	37,867	0,614	0,789	6,3133	4,912	1792,801	58,417	4521,061	116,834
30	2320	4431,176897	0,646	0,884	41,462	0,662	0,749	6,4646	5,029	1835,750	59,816	4490,993	119,633
31	2400	4379,505227	0,737	0,917	42,508	0,676	0,737	6,4896	5,049	1842,847	60,048	4439,553	120,095
32	2480	4320,546527	-8,763	2,132	64,872	0,905	0,425	5,0088	3,897	1422,359	46,346	4366,893	92,693
33	2560	5021,591968	-0,275	0,328	18,170	0,312	0,950	3,8602	3,003	1096,175	35,718	5057,310	71,436
34	2640	5043,618673	-0,277	0,326	18,067	0,310	0,951	3,8412	2,988	1090,780	35,542	5079,161	71,084
35	2720	5085,810993	-0,201	0,397	21,644	0,369	0,929	4,4666	3,475	1268,378	41,329	5107,140	82,658
36	2800	5081,875582	0,739	0,917	42,531	0,676	0,737	6,4900	5,049	1842,973	60,052	5141,927	120,103
37	2880	5022,751268	0,536	0,840	40,041	0,643	0,766	6,4168	4,992	1822,190	59,375	5082,126	118,749
38	2960	4979,857158	-4,521	2,641	69,258	0,935	0,354	4,3151	3,357	1225,353	39,927	5019,784	79,854
39	3040	5341,558845	-3,650	3,035	71,763	0,950	0,313	3,8724	3,013	1099,650	35,831	5377,390	71,662
40	3120	5633,536901	-3,801	2,942	71,226	0,947	0,322	3,9699	3,089	1127,346	36,734	5670,271	73,467
41	3200	5937,604803	0,149	0,649	32,985	0,544	0,839	5,9496	4,629	1689,509	55,051	5992,656	110,102
42	3280	5925,680571	-0,279	0,324	17,963	0,308	0,951	3,8221	2,974	1085,350	35,365	5961,046	70,730
43	3360	5948,038505	-0,627	-0,113	-6,445	-0,112	0,994	-1,4532	-1,131	-412,677	-13,447	5934,592	-26,893

44	3440	5998,219646	-0,385	0,214	12,084	0,209	0,978	2,6671	2,075	757,377	24,679	6022,898	49,357	6047,577
45	3520	6029,023911	-0,255	0,348	19,184	0,329	0,944	4,0435	3,146	1148,219	37,414	6066,438	74,828	6103,851
46	3600	6049,394473	-0,209	0,390	21,281	0,363	0,932	4,4062	3,428	1251,232	40,770	6090,165	81,541	6130,935
47	3680	6066,121520	-0,128	0,458	24,593	0,416	0,909	4,9302	3,836	1400,018	45,618	6111,740	91,237	6157,358
48	3760	6076,389608	0,027	0,572	29,766	0,496	0,868	5,6147	4,368	1594,393	51,952	6128,342	103,904	6180,294
49	3840	6074,236621	0,041	0,582	30,182	0,503	0,864	5,6621	4,405	1607,854	52,391	6126,627	104,781	6179,018
50	3920	6070,924335	-0,089	0,489	26,039	0,439	0,898	5,1387	3,998	1459,243	47,548	6118,473	95,096	6166,021
51	4000	6078,045751	0,054	0,590	30,531	0,508	0,861	5,7009	4,435	1618,875	52,750	6130,795	105,499	6183,545
52	4080	6073,739778	5,382	1,492	56,163	0,831	0,557	6,0259	12,525	4571,748	148,967	6222,706	297,933	6371,673
53	4160	5643,142532	-0,141	0,372	20,396	0,349	0,937	4,2350	11,132	4063,198	129,711	5772,853	267,469	5910,612
54	4240	5654,404306	-0,075	0,428	23,176	0,394	0,919	4,6906	11,487	4192,580	133,841	5788,245	275,986	5930,390
55	4320	5660,366422	-0,035	0,460	24,692	0,418	0,909	4,9207	11,666	4257,922	135,927	5796,293	280,287	5940,654
56	4400	5663,181865	-1,120	-1,393	-54,317	-0,812	0,583	-6,1426	-4,779	-1744,310	-55,684	5607,498	-114,823	5548,359
57	4480	5752,779215	-1,126	-1,416	-54,763	-0,817	0,577	-6,1097	-4,753	-1734,959	-55,386	5697,394	-114,208	5638,572
58	4560	5842,873409	-0,932	-0,814	-39,136	-0,631	0,776	-6,3471	-4,938	-1802,392	-57,538	5785,335	-118,647	5724,227
59	4640	5917,399855	-0,493	-0,007	-0,423	-0,007	1,000	-0,0958	-0,075	-27,200	-0,868	5916,532	-1,790	5915,609
60	4720	5956,816065	-0,735	-0,386	-21,107	-0,360	0,933	-4,3555	-3,389	-1236,833	-39,484	5917,332	-81,417	5875,399
61	4800	6015,609150	-0,464	0,030	1,729	0,030	1,000	0,3910	0,304	111,030	3,544	6019,154	7,309	6022,918
62	4880	6052,706759	-0,308	0,210	11,872	0,206	0,979	2,6101	2,031	741,180	23,661	6076,368	48,790	6101,497
63	4960	6077,383294	-0,157	0,357	19,653	0,336	0,942	4,1063	3,195	1166,075	37,225	6114,608	76,760	6154,143
64	5040	6089,969982	1,927	1,245	51,236	0,780	0,626	6,3295	4,924	1797,382	57,378	6147,348	118,317	6208,287
65	5120	5995,783045	-1,153	-1,519	-56,648	-0,835	0,550	-5,9539	-4,632	-1690,737	-53,974	5881,809	-111,297	5824,486
66	5200	6028,030225	1,979	1,256	51,467	0,782	0,623	6,3180	4,915	1794,109	57,274	6085,304	118,101	6146,131
67	5280	5869,702929	-0,021	0,471	25,227	0,426	0,905	4,9987	3,889	1419,472	45,314	5915,017	93,440	5963,143
68	5360	5871,359073	-0,667	-0,266	-14,886	-0,257	0,966	-3,2189	-2,504	-914,062	-29,180	5842,179	-60,170	5811,189
69	5440	5924,686885	-0,371	0,142	8,093	0,141	0,990	1,8069	1,406	513,118	16,380	5941,067	33,777	5958,464
70	5520	5954,331850	0,170	0,607	31,244	0,519	0,855	5,7494	4,473	1632,655	52,120	6006,452	107,473	6061,805
71	5600	5940,751475	-1,368	-2,643	-69,274	-0,935	0,354	-4,2913	-3,339	-1218,613	-38,902	5901,849	-80,218	5860,534
72	5680	6050,222544	-1,488	-3,641	-74,644	-0,964	0,265	-3,3107	-2,576	-940,130	-30,012	6020,211	-61,886	5988,336
73	5760	6169,299244	-1,857	-14,344	-86,012	-0,998	0,070	-0,8995	-0,700	-255,431	-8,154	6161,145	-16,814	6152,485
74	5840	6317,855294	-1,662	-6,176	-80,803	-0,987	0,160	-2,0455	-1,591	-580,869	-18,543	6299,312	-38,237	6279,618
75	5920	6450,843598	-1,660	-6,133	-80,739	-0,987	0,161	-2,0593	-1,602	-584,765	-18,668	6432,176	-38,493	6412,350
76	6000	6583,666287	-7,090	2,691	69,616	0,937	0,348	4,2330	3,293	1202,045	38,373	6622,039	79,127	6662,794
77	6080	7150,895352	-1,014	-1,042	46,186	-0,722	0,692	-6,4769	-5,039	-1839,238	-58,714	7092,181	-121,072	7029,823
78	6160	7237,046372	-0,706	-0,334	-18,445	-0,316	0,949	-3,8913	-3,027	-1105,003	-35,275	7196,771	-72,739	7159,307
79	6240	7288,520857	-0,764	-0,441	-23,790	-0,403	0,915	-4,7854	-3,723	-1358,913	-43,381	7245,140	-89,454	7199,067
80	6320	7349,632543	-0,700	-0,323	-17,878	-0,307	0,952	-3,7880	-2,947	-1075,673	-34,339	7315,294	-70,809	7278,824
81	6400	7405,610185	0,288	0,680	34,200	0,562	0,827	6,0272	4,689	1711,539	54,638	7460,248	112,666	7518,276
82	6480	7382,589794	-1,066	-1,205	-50,303	-0,769	0,639	-6,3717	-4,957	-1809,372	-57,761	7324,829	-119,106	7263,484
83	6560	7467,881172	-1,105	-1,340	-53,264	-0,801	0,598	-6,2146	-4,835	-1764,755	-56,337	7411,544	-116,169	7351,712
84	6640	7556,319222	-1,041	-1,125	-48,357	-0,747	0,664	-6,4380	-5,009	-1828,192	-58,362	7497,957	-120,345	7435,974
85	6720	7639,623227	-0,987	-0,964	-43,953	-0,694	0,720	-6,4781	-5,040	-1839,588	-58,726	7580,898	-121,095	7518,528
86	6800	7718,621261	-0,942	-0,840	-40,045	-0,643	0,766	-6,3857	-4,968	-1813,351	-57,888	7660,733	-119,368	7599,253
87	6880	7793,975779	-1,594	-4,951	-78,582	-0,980	0,198	-2,5158	-1,957	-714,417	-22,807	7771,169	-47,028	7746,948
88	6960	7921,498810	-0,654	-0,245	-13,779	-0,238	0,971	-2,9990	-2,333	-851,630	-27,187	7894,312	-56,060	7865,438

89	7040	7973,832937	-1,016	-1,048	-46,356	-0,724	0,690	-6,4752	-5,038	-1838,756	-58,699	7915,134	-121,040	7852,793
90	7120	8055,149570	-0,774	-0,461	-24,751	-0,419	0,908	-4,9294	-3,835	-1399,802	-44,686	8010,463	-92,145	7963,004
91	7200	8117,089328	-1,279	-2,102	-64,563	-0,903	0,430	-5,0288	-3,912	-1428,041	-45,588	8071,502	-94,004	8023,085
92	7280	8219,438981	-1,288	-2,147	-65,030	-0,907	0,422	-4,9615	-3,860	-1408,913	-44,977	8174,462	-92,745	8126,694
93	7360	8322,451092	-1,188	-1,665	-59,007	-0,857	0,515	-5,7229	-4,452	-1625,130	-51,879	8270,572	-106,978	8215,473
94	7440	8417,513715	-1,209	-1,756	-60,339	-0,869	0,495	-5,5753	-4,338	-1583,205	-50,541	8366,973	-104,218	8313,296
95	7520	8514,232481	-0,911	-0,762	-37,299	-0,606	0,795	-6,2496	-4,862	-1774,709	-56,654	8457,578	-116,824	8397,408
96	7600	8587,102784	-0,857	-0,635	-32,419	-0,536	0,844	-5,8673	-4,565	-1666,149	-53,189	8533,914	-109,678	8477,425
97	7680	8655,667115	-0,648	-0,235	-13,228	-0,229	0,973	-2,8881	-2,247	-820,126	-26,181	8629,486	-53,987	8601,681
98	7760	8707,504399	-0,785	-0,482	-25,713	-0,434	0,901	-5,0679	-3,943	-1439,142	-45,942	8661,562	-94,735	8612,770
99	7840	8770,272229	-0,930	-0,808	-38,954	-0,629	0,778	-6,3386	-4,931	-1799,972	-57,461	8712,811	-118,487	8651,785
100	7920	8844,633061	-0,737	-0,390	-21,298	-0,363	0,932	-4,3874	-3,413	-1245,899	-39,773	8804,860	-82,014	8762,619
101	8000	8903,591761	111,295	2,025	63,715	0,897	0,443	5,1477	4,005	1461,796	46,665	8950,257	96,226	8999,818

LAMPIRAN F: PERHITUNGAN PERUBAHAN GARIS PANTAI 2014-2024

Pias	X (m)	Y awal(m)	Tan a _i	Tan a _b	a _b	Sin a _b	Cos a _b	P ₁ (t-m/hari/m)	Q _s (m ³ /hari)	Q _s (m ³ /th)	δy ₀ (m)	5 tahun		10 tahun	
												Y akhir(m)	δy ₀ (m)	Y akhir(m)	δy ₀ (m)
1	0	342,526456	-9,464	2,487	68,094	0,928	0,373	4,5563	3,545	1293,857	41,304	383,831	85,171	427,697	
2	80	1099,613525	-7,772	2,615	69,074	0,934	0,357	4,3913	3,416	1246,994	39,808	1139,422	82,086	1181,700	
3	160	1721,392728	-2,804	6,333	81,026	0,988	0,156	2,0280	1,578	575,902	18,385	1739,777	37,910	1759,303	
4	240	1945,731572	-4,765	3,238	72,840	0,955	0,295	3,7108	2,887	1053,768	33,640	1979,371	69,367	2015,098	
5	320	2326,946035	-7,329	2,662	69,413	0,936	0,352	4,3328	3,371	1230,399	39,278	2366,224	80,994	2407,940	
6	400	2913,274721	-1,576	-8,010	-82,884	-0,992	0,124	-1,5015	-1,246	-454,774	-14,818	2898,456	-29,637	2883,638	
7	480	3039,355739	-1,825	125,695	89,544	1,000	0,008	0,1036	0,081	29,432	0,959	3040,315	1,918	3041,274	
8	560	3185,347322	-0,676	-0,196	-11,080	-0,192	0,981	-2,4571	-0,912	-697,748	-22,736	3162,612	-45,471	3139,876	
9	640	3239,432630	-3,677	3,017	71,664	0,949	0,315	3,8906	3,027	1104,809	35,999	3275,432	71,999	3311,431	
10	720	3533,558609	-6,281	2,313	66,616	0,918	0,397	4,7462	3,693	1347,786	43,917	3577,475	87,833	3621,392	
11	800	4036,036300	1,546	1,131	48,528	0,749	0,662	6,4649	5,030	1835,834	59,819	4095,855	119,638	4155,675	
12	880	3912,344955	1,631	1,148	48,942	0,754	0,657	6,4526	5,020	1832,351	59,706	3972,051	119,411	4031,756	
13	960	3781,874102	-0,550	0,005	0,259	0,005	1,000	0,0589	0,046	16,739	0,545	3782,420	1,091	3782,965	
14	1040	3825,903968	-0,346	0,257	14,395	0,249	0,969	3,1373	2,441	890,907	29,029	3854,933	58,059	3883,963	
15	1120	3853,584509	-11,505	2,040	63,887	0,898	0,440	5,1491	4,006	1462,192	47,644	3901,229	95,289	3948,873	
16	1200	4774,002954	-0,737	-0,309	-17,170	-0,295	0,955	-3,6746	-2,859	-1043,484	-34,001	4740,002	-68,002	4706,001	
17	1280	4832,925275	0,476	0,815	39,167	0,632	0,775	6,3796	4,963	1811,626	59,030	4891,956	118,061	4950,986	
18	1360	4794,884766	-0,067	0,505	26,813	0,451	0,892	5,2450	4,081	1489,433	48,532	4843,417	97,064	4891,949	
19	1440	4800,226624	-0,891	-0,665	-33,637	-0,554	0,833	-6,0084	-4,675	-1706,215	-55,596	4744,631	-111,191	4689,035	
20	1520	4871,489852	-0,208	0,391	21,332	0,364	0,931	4,4147	3,435	1253,652	40,849	4912,339	81,698	4953,188	
21	1600	4888,124481	1,030	1,009	45,243	0,710	0,704	6,5140	5,068	1849,774	60,273	4948,398	120,547	5008,671	
22	1680	4805,730358	0,886	0,966	44,005	0,695	0,719	6,5103	5,065	1848,725	60,239	4865,970	120,478	4926,209	
23	1760	4734,848546	0,126	0,635	32,417	0,536	0,844	5,8959	4,587	1674,248	54,554	4789,403	109,108	4843,957	
24	1840	4724,793104	0,866	0,960	43,818	0,692	0,722	6,5087	5,064	1848,266	60,224	4785,017	120,448	4845,242	
25	1920	4655,510815	0,314	0,739	36,460	0,594	0,804	6,2269	4,845	1768,254	57,617	4713,128	115,234	4770,745	
26	2000	4630,420267	0,000	0,554	28,965	0,484	0,875	5,5202	4,295	1567,568	51,078	4681,498	102,156	4732,576	
27	2080	4630,420267	0,595	0,864	40,825	0,654	0,757	6,4451	5,014	1830,229	59,636	4690,057	119,273	4749,693	
28	2160	4582,829162	0,235	0,698	34,900	0,572	0,820	6,1135	4,756	1736,058	56,568	4639,397	113,136	4695,965	
29	2240	4564,051719	-0,705	-0,248	-13,914	-0,240	0,971	-3,0410	-2,366	-863,563	-28,138	4535,913	-56,277	4507,775	
30	2320	4620,422492	1,020	1,006	45,165	0,709	0,705	6,5141	5,068	1849,810	60,275	4680,697	120,549	4740,972	
31	2400	4538,799296	1,244	1,064	46,789	0,729	0,685	6,5015	5,058	1846,233	60,158	4598,957	120,316	4659,115	
32	2480	4439,284919	-7,628	2,196	65,512	0,910	0,415	4,9145	3,824	1395,582	45,474	4484,759	90,948	4530,233	
33	2560	5049,513365	-0,271	0,332	18,379	0,315	0,949	3,8983	3,033	1106,997	36,071	5085,584	72,141	5121,655	
34	2640	5071,204549	-1,061	-1,230	-50,894	-0,776	0,631	-6,3768	-4,961	-1810,825	-59,004	5012,200	-118,008	4953,196	
35	2720	5156,097003	1,587	1,140	48,731	0,752	0,660	6,4590	5,025	1834,174	59,765	5215,862	119,530	5275,627	
36	2800	5029,136400	-0,103	0,478	25,538	0,431	0,902	5,0679	3,943	1439,145	46,893	5076,030	93,787	5122,923	
37	2880	5037,372777	0,502	0,826	39,561	0,637	0,771	6,3971	4,977	1816,596	59,192	5096,565	118,385	5155,757	
38	2960	4997,191680	-1,989	14,187	85,968	0,998	0,070	0,9138	0,711	259,495	8,455	5005,647	16,911	5014,103	
39	3040	5156,350539	-1,172	-1,758	-60,371	-0,869	0,494	-5,5988	-4,356	-1589,900	-51,806	5104,545	-103,611	5052,739	
40	3120	5250,075879	-7,582	2,199	65,541	0,910	0,414	4,9100	3,820	1394,289	45,432	5295,508	90,864	5340,939	
41	3200	5856,619656	-0,263	0,340	18,777	0,322	0,947	3,9704	3,089	1127,479	36,738	5893,358	73,476	5930,096	
42	3280	5877,663341	0,047	0,585	30,327	0,505	0,863	5,6783	4,418	1612,467	52,541	5930,204	105,082	5982,745	
43	3360	5873,940228	-1,190	-1,863	-61,781	-0,881	0,473	-5,4283	-4,223	-1541,462	-50,227	5823,713	-100,455	5773,486	

44	3440	5969,122438	-0,195	0,402	21,888	0,373	0,928	4,5069	3,306	1279,818	41,702	6010,824	83,404	6052,526
45	3520	5984,734829	-0,499	0,075	4,282	0,075	0,997	0,9701	0,755	275,492	8,977	5993,711	17,953	6002,688
46	3600	6024,681613	-1,632	-11,192	-84,894	-0,996	0,089	-1,1549	-0,898	-327,951	-10,686	6013,996	-21,372	6003,310
47	3680	6155,278121	0,419	0,789	38,286	0,620	0,785	6,3361	4,930	1799,274	58,628	6213,906	117,256	6272,534
48	3760	6121,770098	0,184	0,669	33,799	0,556	0,831	6,0226	4,686	1710,245	55,727	6177,497	111,454	6233,224
49	3840	6107,039518	0,105	0,622	31,902	0,528	0,849	5,8451	4,547	1659,831	54,084	6161,124	108,168	6215,208
50	3920	6098,622043	-0,004	0,551	28,842	0,482	0,876	5,5052	4,283	1563,318	50,939	6149,561	101,879	6200,501
51	4000	6098,945792	-0,036	0,528	27,822	0,467	0,884	5,3778	4,184	1527,140	49,761	6148,706	99,521	6198,467
52	4080	6101,859533	3,559	1,385	54,164	0,811	0,585	6,1837	12,648	4616,580	150,427	6252,287	300,855	6402,714
53	4160	5817,122276	0,680	0,878	41,293	0,660	0,751	6,4282	12,838	4686,013	154,234	5971,356	308,467	6125,590
54	4240	5762,732442	0,540	0,816	39,206	0,632	0,775	6,3503	12,778	4663,878	153,505	5916,238	307,010	6069,743
55	4320	5719,511948	0,174	0,614	31,549	0,523	0,852	5,7809	12,335	4502,180	148,183	5867,695	296,366	6015,878
56	4400	5705,590741	-1,068	-1,215	-50,554	-0,772	0,635	-6,3610	-4,949	-1806,334	-59,453	5646,138	-118,906	5586,685
57	4480	5791,060480	-0,892	-0,713	-35,499	-0,581	0,814	-6,1292	-4,769	-1740,504	-57,286	5733,774	-114,573	5676,488
58	4560	5862,447138	-0,817	-0,544	-28,542	-0,478	0,878	-5,4417	-4,234	-1545,290	-50,861	5811,586	-101,722	5760,725
59	4640	5927,844439	-0,654	-0,237	-13,356	-0,231	0,973	-2,9139	-2,267	-827,456	-27,235	5900,610	-54,469	5873,375
60	4720	5980,129904	-0,621	-0,185	-10,499	-0,182	0,983	-2,3228	-1,807	-659,616	-21,710	5958,420	-43,421	5936,709
61	4800	6029,823378	-0,606	-0,162	-9,195	-0,160	0,987	-2,0451	-1,591	-580,737	-19,114	6010,711	-38,228	5991,597
62	4880	6078,315291	-0,132	0,385	21,071	0,360	0,933	4,3495	3,384	1235,131	40,653	6118,968	81,305	6159,621
63	4960	6088,909573	0,385	0,738	36,418	0,594	0,805	6,1937	4,819	1758,832	57,890	6146,799	115,779	6204,689
64	5040	6058,100200	-0,547	-0,074	-4,259	-0,074	0,997	-0,9603	-0,747	-272,686	-8,975	6049,125	-17,950	6040,150
65	5120	6101,859533	0,004	0,496	26,365	0,444	0,896	5,1586	4,013	1464,899	48,215	6150,075	96,430	6198,290
66	5200	6101,535784	0,024	0,511	27,056	0,455	0,891	5,2518	4,086	1491,358	49,086	6150,622	98,172	6199,708
67	5280	6099,593290	-0,291	0,235	13,220	0,229	0,973	2,8865	2,246	819,670	26,978	6126,572	53,957	6153,550
68	5360	6122,903219	-0,376	0,143	8,120	0,141	0,990	1,8128	1,410	514,790	16,944	6139,847	33,887	6156,790
69	5440	6153,011878	0,855	0,948	43,483	0,688	0,726	6,4733	5,036	1838,235	60,503	6213,515	121,006	6274,018
70	5520	6084,577406	-2,047	184,462	89,689	1,000	0,005	0,0703	0,055	19,958	0,657	6085,234	1,314	6085,891
71	5600	6248,355962	-0,771	-0,449	-24,169	-0,409	0,912	-4,8428	-3,768	-1375,221	-45,264	6203,092	-90,527	6157,829
72	5680	6310,030149	-0,915	-0,768	-37,524	-0,609	0,793	-6,2630	-4,873	-1778,497	-58,537	6251,493	-117,074	6192,957
73	5760	6383,197426	-0,826	-0,561	-29,301	-0,489	0,872	-5,5332	-4,305	-1571,253	-51,716	6331,482	-103,431	6279,766
74	5840	6449,242225	-0,884	-0,694	-34,756	-0,570	0,822	-6,0724	-4,724	-1724,384	-56,756	6392,487	-113,511	6335,731
75	5920	6519,981384	-6,157	2,786	70,258	0,941	0,338	4,1220	3,207	1170,516	38,526	6558,507	77,052	6597,033
76	6000	7012,565509	-1,400	-2,925	-71,127	-0,946	0,323	-3,9684	-3,087	-1126,895	-37,090	6975,475	-74,180	6938,385
77	6080	7124,582667	-0,442	0,064	3,682	0,064	0,998	0,8308	0,646	235,917	7,765	7132,348	15,530	7140,112
78	6160	7159,962971	-2,136	31,438	88,178	0,999	0,032	0,4120	0,321	116,989	3,851	7163,813	7,701	7167,664
79	6240	7330,864005	-0,287	0,240	13,484	0,233	0,972	2,9397	2,287	834,776	27,476	7358,340	54,951	7385,815
80	6320	7353,796969	-0,340	0,183	10,390	0,180	0,984	2,2997	1,789	653,057	21,494	7375,291	42,989	7396,786
81	6400	7380,991886	4,049	1,517	56,601	0,835	0,550	5,9581	4,635	1691,928	55,687	7436,679	111,375	7492,367
82	6480	7057,080998	-4,678	3,209	72,691	0,955	0,298	3,6827	2,865	1045,767	34,420	7091,501	68,840	7125,921
83	6560	7431,334858	-0,927	-0,799	-38,618	-0,624	0,781	-6,3222	-4,919	-1795,320	-59,091	7372,244	-118,181	7313,154
84	6640	7505,473382	-0,552	-0,082	-4,698	-0,082	0,997	-1,0582	-0,823	-300,511	-9,891	7495,582	-19,782	7485,692
85	6720	7549,665122	-1,089	-1,285	-52,113	-0,789	0,614	-6,2836	-4,889	-1784,364	-58,730	7490,935	-117,460	7432,205
86	6800	7636,753607	-1,095	-1,307	-52,573	-0,794	0,608	-6,2572	-4,868	-1776,869	-58,483	7578,270	-116,966	7519,787
87	6880	7724,327715	-1,246	-1,953	-62,884	-0,890	0,456	-5,2598	-4,092	-1493,618	-49,160	7675,167	-98,321	7626,007
88	6960	7824,042411	-1,099	-1,321	-52,878	-0,797	0,604	-6,2389	-4,854	-1771,653	-58,312	7765,731	-116,623	7707,419

89	7040	7911,940268	-1,206	-1,757	-60,357	-0,869	0,495	-5,5731	-4,336	-1582,595	-52,089	7859,851	-104,178	7807,762
90	7120	8008,417474	0,026	0,512	27,124	0,456	0,890	5,2608	4,093	1493,911	49,170	8037,588	98,340	8106,758
91	7200	8006,313106	-2,070	80,362	89,287	1,000	0,012	0,1613	0,125	45,806	1,508	8007,821	3,015	8009,328
92	7280	8171,910726	-0,950	-0,859	-40,676	-0,652	0,758	-6,4087	-4,986	-1819,885	-59,899	8112,012	-119,798	8052,113
93	7360	8247,900747	-0,940	-0,833	-39,803	-0,640	0,768	-6,3760	-4,961	-1810,606	-59,594	8188,307	-119,187	8128,714
94	7440	8323,101516	-0,273	0,254	14,227	0,246	0,969	3,0885	2,403	877,037	28,866	8351,968	57,733	8380,834
95	7520	8344,954574	-0,874	-0,670	-33,824	-0,557	0,831	-5,9954	-4,664	-1702,506	-56,036	8288,919	-112,071	8232,883
96	7600	8414,884361	-0,834	-0,579	-30,059	-0,501	0,866	-5,6206	-4,373	-1596,079	-52,533	8362,352	-105,065	8309,819
97	7680	8481,576658	-0,900	-0,733	-36,238	-0,591	0,807	-6,1816	-4,809	-1755,395	-57,776	8423,800	-115,553	8366,024
98	7760	8553,610813	-1,329	-2,424	-67,585	-0,924	0,381	-4,5701	-3,556	-1297,785	-42,715	8510,896	-85,430	8468,181
99	7840	8659,962364	-1,222	-1,833	-61,387	-0,878	0,479	-5,4505	-4,241	-1547,783	-50,943	8609,019	-101,886	8558,076
100	7920	8757,734566	-0,904	-0,743	-36,607	-0,596	0,803	-6,2062	-4,828	-1762,379	-58,006	8699,728	-116,013	8641,722
101	8000	8830,092471	110,376	2,002	63,462	0,895	0,447	5,1823	4,032	1471,614	48,436	8878,529	96,872	8926,965